

УДК 629.11

## АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ДИАГНОСТИКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**В.Е. Тарасенко,**

*зав. каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**О.Ч. Ролич,**

*доцент каф. проектирования информационно-компьютерных систем БГУИР, канд. техн. наук, доцент*

**Д.А. Михеевич,**

*директор ООО «АКСОНИМ»*

*В целях идентификации дефектов узлов и агрегатов дизельных двигателей и детектирования моментов их зарождения в масштабе реального времени, разработаны алгоритмы вычисления и обработки аналитического ансамбля потока данных, включающие скейлограммы и гистограммы, и использующиеся в интегрированной системе виброакустической и тепловой диагностики.*

*Ключевые слова: двигатель, система, сигнал, датчик, алгоритм, скейлограмма, гистограмма, массив, выборка.*

*In order to identify defects of units and assemblies of diesel engines and detect the moments of their inception in real time, algorithms for calculating and processing the analytical ensemble of the data flow, including scaleograms and histograms, have been developed and are used in the integrated system of vibroacoustic and thermal diagnostics.*

*Keywords: engine, system, signal, sensor, algorithm, scaleogram, histogram, array, sample.*

### Введение

Значительное повышение эффективности эксплуатации и надежности сельскохозяйственной техники обусловлено, в частности, решением задачи контроля ее работы в масштабе реального времени [1]. Следует отметить, что подобные задачи, ранее считавшиеся нерешаемыми в реальном времени, на текущий момент, в связи с интенсивным развитием микропроцессорной техники, становятся принципиально решаемыми. При этом использование современной микроконтроллерной базы позволяет снизить стоимость подобных приборов контроля до минимального соотношения цены к вычислительной способности.

Целью настоящей работы является разработка алгоритмов вычисления и обработки аналитического ансамбля потока данных для идентификации дефектов узлов и агрегатов машин. Данные алгоритмы предназначены для работы в интегрированной системе виброакустической и тепловой диагностики.

Касательно дизельных двигателей, настоящие алгоритмы и действия, связанные с прогнозированием их остаточного ресурса, осуществляются по косвенным признакам в моменты технического обслуживания, и не носят характера реального времени [2, 3].

### Основная часть

Авторами предлагается оценивать остаточный ресурс узлов и агрегатов дизеля на основе распозна-

вания образов дефектов и анализа динамики деформации формы сегментированных областей в интегрированном потоке изображений скейлограмм сигналов виброакустических датчиков и гистограмм сигналов тепловизионных сенсоров [4, 5].

Суть основного алгоритма обработки потоков данных, поступающих от датчика вибрации, акустики или тепла, заключается в следующем.

Из потока одномерных данных, схематично представленного на рисунке 1, множеством отсчетов, как ячеек одинакового размера, отбираются взаимно пересекающиеся выборки постоянной длины  $N$ .

Каждая выборка подвергается вычислению одномерной гистограммы и вейвлет-преобразованию. Результирующее множество статистических и вейвлет-образов исходных выборок объединяется соответственно в двухмерную гистограмму и скейлограмму в виде полутоновых изображений, отражающих статистический и вейвлет ансамбли, динамически меняющиеся при добавлении или смене выборки в потоке данных.

Объединенный образ двухмерной гистограммы и скейлограммы далее обобщенно именуется «аналитическим ансамблем».

С целью подчеркивания контуров объектов аналитического ансамбля, на его полутоновое представление возможно наложение цветовой палитры [4].

Анализ аналитического ансамбля, как изображенная, проводится стандартными способами цифровой

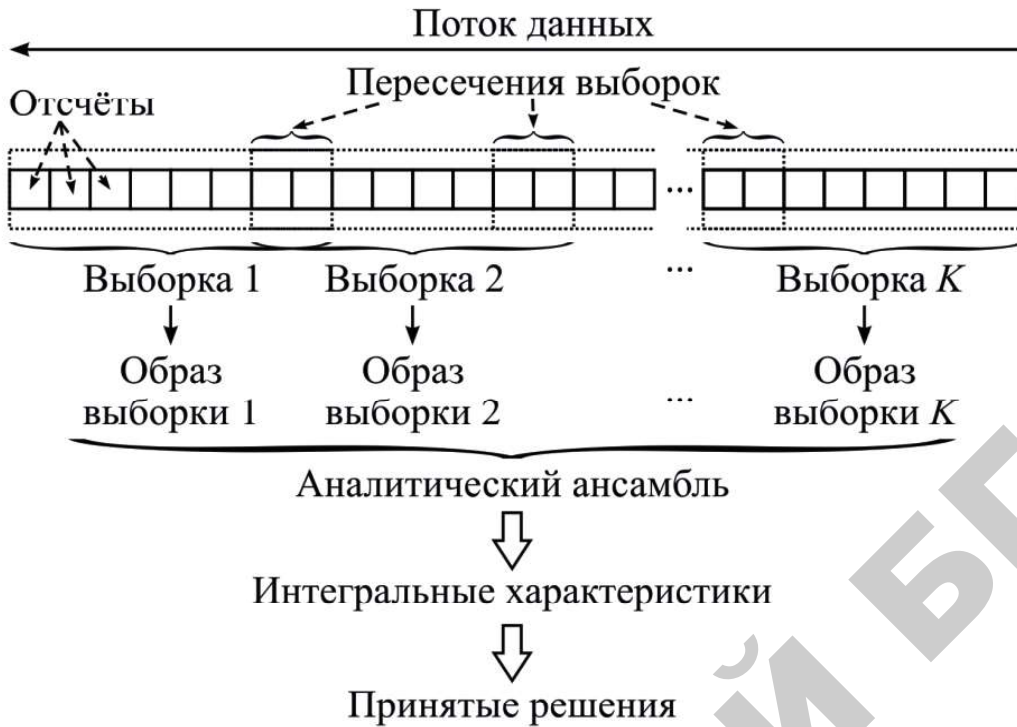


Рисунок 1. Схема преобразования потока данных для оценки остаточного ресурса узлов и агрегатов дизеля

обработки изображений, заключающимися в их сегментации и вычислении интегральных характеристик сегментированных объектов [6].

Для вычисления интегральных характеристик объектов аналитического ансамбля, на базе которых впоследствии распознаются образы дефектов или оценивается состояние узлов и агрегатов дизеля, изображение аналитического ансамбля подвергается адаптивной пороговой обработке и сегментации. Вектор признаков дефектов строится из описания отдельных объектов сегментированного изображения аналитического ансамбля множеством метрических характеристик, в общем состоящих из цепных кодов, геометрических и энергетических центров, периметров, площадей, показателей толщины, соотношений радиусов кривизны и взаимного расположения сегментированных объектов изображения аналитического ансамбля.

Окончательное решение, связанное с состоянием узлов и агрегатов дизельных двигателей и распознаванием типов дефектов, принимается на базе корреляционного анализа результирующих векторов признаков сегментированных объектов с априори вычисленными векторами аналогичных признаков известных дефектов. По форме и максимальному значению корреляционной функции оценивается состояние узлов и агрегатов, в частности, их остаточный ресурс.

Алгоритм построения скейлограммы состоит из следующих этапов.

1. Задание длины  $N$  периодических выборок. Как правило,  $N = 2^p$ ,

где  $p$  – натуральное число,  $5 < p < 14$ .

2. Выделение памяти для двумерного массива скейлограммы размером  $(K \times N/2)$ :

`float scaleGram[K][N/2]`

и его инициализация нулями.

3. Выбор базисной функции  $b(k)$  преобразования и ее представление в виде  $N$ -мерного вектора  $b = \{b_k\}$ ,  $k = 0, 1, \dots, (N-1)$ . Координаты  $b_k$  вектора  $b$  – это значения базисной функции  $b(k)$ , сдвинутые на  $N/2$  элементов вправо, т.е. центрированные по отношению к массиву  $b[k]$  длиной  $N$ :

$$b_k = b[k] = b(const \cdot (k - N/2)),$$

где  $const$  – коэффициент, постоянный для выбранного базиса и зависящий только от вида базисной функции  $b(k)$ .

4. Формирование множества  $\{b_s\}$  базисных векторов в зависимости от коэффициента  $s$  масштаба, варьируемого от 0 до  $(N/2)$  с шагом 1. В результате получается двумерная матрица  $B$ , в которой отдельные строки являются векторами  $b_s$ , а значение  $s$  коэффициента масштаба определяет непосредственный номер строки в матрице  $B$ :

$$B_{S,k} = b_{k + \frac{N(s-1)}{2s}}$$

5. Модификация базисных векторов посредством умножения координат каждого вектора-базиса  $b_s$  на новые коэффициенты  $w_k$  функции  $w(k)$  прямоугольного окна, окна Хэмминга, Хэннинга или Блэкмана [7]:

$$W_{s,k} = B_{s,k} \cdot w_k.$$

В результате данного шага формируется двухмерная матрица  $W$  модифицированного (с учетом функции окна) базиса, содержащего в себе множество  $\{W_s\}$  модифицированных базисных векторов.

6. Выбор из потока данных массива  $f[k] = f_k$  длиной  $N$  и представление его  $N$ -мерным вектором  $f = \{f_k\}, k = 0, 1, \dots, (N - 1)$ .

7. Последовательное скалярное произведение вектора  $f$  на модифицированный базисный вектор  $W_s$ , принадлежащий  $s$ -й строке двухмерной матрицы  $W$ :

$$F_s = f \cdot W_s.$$

Вычисленное множество  $\{F_s\}$  представляет собой вектор  $F$  как образ текущей выборки  $f$ . Длина вектора  $F$  равна  $N/2$ . Его координатами  $F_s$  впоследствии заполняется первая строка матрицы  $scaleGram[][]$ . Таким образом, индекс  $s$  в результирующей двухмерной матрице  $scaleGram[][]$  обозначает номер столбца.

8. Линейный сдвиг на одну строку массива  $scaleGram[][]$  скейлограммы:

$$scaleGram[k][s] = scaleGram[k - 1][s], k = 1, 2, \dots, (K - 1); s = 0, 1, \dots, N / 2.$$

9. Запись в первую строку массива  $scaleGram[][]$  скейлограммы элементов, вычисленного на шаге 7 вектора  $F$ :

$$scaleGram[0][s] = F[s], s = 0, 1, \dots, N / 2.$$

10. Линейное или экспоненциальное контрастное масштабирование скейлограммы  $scaleGram[][]$  как изображения (или аналитического ансамбля в соответствии с рисунком 1) размером  $(K \times N/2)$  [6].

11. Формирование из потока данных очередной, например  $(K + 1)$ -й выборки (рис. 1) и циклическое повторение шагов 6 – 11.

Алгоритм вычисления гистограммы оперирует выборками той же длины  $N$ , что и вышеприведенный алгоритм вычисления скейлограммы. Поэтому основными этапами в построении гистограммы как изображения размером  $(K \times Q)$ , где натуральное число  $Q$  (как правило,  $8 \leq Q \leq N/2$ ) определяет количество гистограммных ячеек, являются:

1. Априорное задание границ  $[f_{min}, f_{max}]$  диапазона изменения потоковых данных.

2. Вычисление множества  $\{r_q\}$  границ промежуточных гистограммных поддиапазонов:

$$r_q = [f_{min} + q \cdot \Delta, f_{min} + (q + 1) \cdot \Delta],$$

где  $\Delta = \frac{f_{max} - f_{min}}{Q}$  – ширина поддиапазона,  $q = 0, 1, \dots, (Q - 1)$ .

3. Выделение памяти для двухмерного массива гистограммы размером  $(K \times Q)$ :

$$int\ hist2D[K][Q]$$

и его инициализация нулями.

4. Выбор из потока данных массива  $f[k] = f_k$  длиной  $N, k = 0, 1, \dots, (N - 1)$ .

5. Модификация выборки  $\{f_k\}$  посредством умножения каждого ее элемента на весовой коэффициент  $w_k$  функции  $w(k)$  окна, чаще всего прямоугольного [7]. В результате данной операции формируется множество  $\{g_k\}$  и массив  $g[N]$  по формуле:

$$g[k] = g_k = f_k \cdot w_k.$$

6. Линейный сдвиг на одну строку массива  $hist2D[][]$  двухмерной гистограммы:

$$hist2D[k][q] = hist2D[k - 1][q], k = 1, 2, \dots, (K - 1); q = 0, 1, \dots, (Q - 1).$$

7. Выделение памяти для одномерного массива гистограммы длиной  $Q$ :

$$int\ hist1D[Q]$$

и его инициализация нулями.

8. Вычисление одномерной гистограммы  $hist1D[]$  для модификации  $\{g_k\}$  исходной выборки  $\{f_k\}$  путем подсчета количества элементов массива  $g[]$ , попадающих в  $q$ -й гистограммный поддиапазон.

9. Запись в первую строку массива  $hist2D[][]$  двухмерной гистограммы элементов одномерной гистограммы:

$$hist2D[0][q] = hist1D[q].$$

Далее по аналогии с шагом 10 алгоритма построения скейлограммы результирующая двухмерная гистограмма подвергается контрастному масштабированию с последующим циклическим повторением шагов, начиная с номера 4.

Фрагменты аналитического ансамбля в виде изображений скейлограмм и гистограмм, сформированные посредством двух описанных выше алгоритмов, подвергаются линейной фильтрации, представляющей свертку с ядром Калмана, пространственному дифференцированию, сегментации и пороговой обработке [6].

В качестве диагностических векторов сегментированного аналитического ансамбля, позволяющих идентифицировать образы зарождающихся или прогрессирующих дефектов, используются множества чисел, включающие координаты энергетических и геометрических центров сегментированных объектов, их площади и определяющие форму коэффициенты толщины.

Принятие решения о наличии, типах и степени выраженности дефектов, а также оценка остаточного ресурса узлов и агрегатов дизеля основывается на анализе пространственного расположения и форме сегментированных объектов, соответствующих определенным дефектам аналитического ансамбля, степени их обособленности и характеру группировки [4]. Динамика деформации формы сегментированных объектов оценивается по изменению их площадей и коэффициентов толщины.

При наличии базы образов дефектов, их распознавание и оценка скорости развития осуществляется путем анализа значений коэффициентов корреляции между диагностическими векторами сегментированных объектов аналитического ансамбля и аналогичными векторами, принадлежащими базе образов дефектов.

#### Заключение

Описанные алгоритмы вычисления и обработки аналитического ансамбля потока данных, включающие скейлограммы и гистограммы, и использующиеся в интегрированной системе виброакустической и тепловой диагностики, разработаны для идентификации дефектов узлов и агрегатов дизельных двигателей и детектирования моментов их зарождения в масштабе реального времени. Своевременное обнаружение зарождения дефектов позволит повысить работоспособность контролируемых объектов и значительно продлить их эксплуатационный ресурс.

Учитывая характер отсчетов используемых виброакустических и тепловых датчиков, вышеописанные расчеты практически ведутся на целочисленном множестве с применением целочисленной арифметики. А принимая во внимание симметричность базисных функций вектора  $b$ , в практических алгоритмах реализованы низкоуровневая оптимизация и ускорение процессов вычисления скейлограмм и корреляционной обработки аналитического ансамбля.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Интеллектуальные технологии в агропромышленном комплексе / И.Н. Шило [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2016. – 336 с.
2. Рекомендации по внедрению диагностической системы управления состоянием дизелей тепловозов и дизель-поездов по результатам анализа масла [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: [http://osjd.org/dbmm/download?vp=51&load=y&col\\_id=2066&id=1542](http://osjd.org/dbmm/download?vp=51&load=y&col_id=2066&id=1542). – Дата доступа: 25.09.2020 г.
3. Ресурсосберегающее управление процессами эксплуатации и технического сервиса сельскохозяйственной техники / С.Л. Никитченко [и др.] // Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование. – 2018. – № 4 (44). – С. 57-65.
4. Ролич, О.Ч. Тепловой контроль работы двигателя на основе статистического анализа сигналов болометра / О.Ч. Ролич, В.Е. Тарасенко, В.С. Ивашко // Изобретатель. – 2019. – № 2-3 – С. 40-44.
5. Ролич, О.Ч. Многоканальная интегрированная система виброакустической и тепловой диагностики дизельных двигателей / О.Ч. Ролич, В.Е. Тарасенко // Агропанорама. – 2019. – № 5 – С. 42-45.
6. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
7. Гетманов, В.Г. Цифровая обработка сигналов / В.Г. Гетманов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 232 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 05.10.2020

УДК 331.101.3

## УПРАВЛЕНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМ КАПИТАЛОМ В АПК: ОПЫТ СТРАН ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА

Т.А. Тетеринец,

доцент каф. экономики и организации предприятий АПК БГАТУ, канд. экон. наук, доцент

*Изучен опыт управления человеческим капиталом в странах Европейского Союза. Рассмотрены практические аспекты менеджмента человеческого капитала в приграничных регионах: странах Балтии и Польше. Выделены общие подходы к единой сельскохозяйственной политике стран ЕС. Отмечается приоритетность кластерного и программного подходов к управлению человеческим капиталом в контексте развития сельских территорий.*

**Ключевые слова:** человеческий капитал, агропромышленный комплекс, Европейский Союз, сельские территории, программы.

*The experience of human capital management in the European Union countries was studied. Practical aspects of human capital management in the border regions of the Baltic States and Poland are considered. Common approaches of the common agricultural policy of the EU countries are highlighted. The priority of cluster and program approaches in human capital management in the context of rural development is noted.*

**Keywords:** human capital, agro-industrial complex, European Union, rural territories, programs.

#### Введение

В современных условиях трансформации социально-экономических отношений развития общества,

устойчивость производственной сферы зависит не только от качества и количества технических средств, но и от совокупности накопленного человеческого капитала. Эффективность управления этим ресурсом