

УДК 621.397.13

С.Л. Балабаев, Е.Г. Лозовская, К.Е. Румянцев

**ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ РАЗНОВЫСОТНОСТИ РАСПОЛОЖЕННЫХ
В СТРОГОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ ПОРЯДКЕ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ
ЦИФРОВОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ПЗС-МАТРИЦАХ***

Научные исследования, отраженные в статье, состоят в оценке погрешности измерения разнорысотности объектов, расположенных в строгом геометрическом порядке. Разработана математическая модель регистрирующей видеокамеры, которая позволяет оценить методическую погрешность и выявить закономерности. Идеальная математическая модель стереопары видеокамер позволяет определять координаты точек шестиугольника в глобальной системе координат (ГСК). При этом получены соотношения для пересчета координат из ГСК в ССК с последующим смещением начала координат; рассчитаны координаты в естественных единицах фотоприемника; реконструированы трехмерные координаты объектов ССК на основе координат их проекций в изображениях стереопары; произведен обратный пересчет координат из ССК в ГСК. Кроме того, на основе внутренних параметров видеокамер и параметров их взаимного расположения, имеется возможность оценить трехмерные координаты вершин шестиугольника по стереопаре, найти координаты соответствующих данным точкам сопряженные точки, оценить абсолютную погрешность и установить ее зависимость от длины базы между двумя положениями видеокамеры и удаленностью от нее вершин.

Бесконтактный метод; разнорысотность; видеонаблюдение.

S.L. Balabaev, E.G. Lozovskaya, K.E. Rumyantsev

**ESTIMATES OF THE ERROR IN THE HEIGHT OF THE STRICT
GEOMETRIC ORDER OF OBJECTS BASED ON DIGITAL TELEVISION
SYSTEMS ON THE CCD**

Research in this article consist in the estimate of the error of height's measurement of objects located in the strict geometrical order. The mathematical model of the camcorder recording was developed and allows evaluating systematic error and identifying patterns. The ideal mathematical model of a stereo pair of video cameras, allows determining the coordinates of the points of the hexagon in the global coordinate system (GCS). Also the ratio for converting coordinates from GCS in the standard coordinate system camera SCS with following displacement of the origin are obtained; the coordinates in natural units of photo detector are calculated; the three-dimensional coordinates of the objects on the basis of SCS coordinates of their projections in the stereo pair images are reconstructed; the reverse conversion of coordinates from SCS in GCS is produced. In addition, based on the internal parameters of video cameras and the parameters of their mutual arrangement, it is possible to estimate the three-dimensional coordinates of the hexagon's vertices on a stereo pair, to find the coordinates of the corresponding data points the conjugate points, to estimate the absolute error and to establish its dependence on the base's length between the two video camera's provisions and the distance of the vertices from it.

Non-contact method; different height; video observation.

Введение. Одним из основных направлений в атомной энергетике является создание высоконадежных комплексов для управления технологическими процессами цифровых телевизионных систем (ЦТС), что значительно повышает эффективность атомной электростанции (АЭС). Измерение разнорысотности головок тепловыделяющих сборок (ТВС) характеризует их искривление и влияет на безо-

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 14-08-00071-а).

пасность проводимых ядерно-опасных работ. Заметим, что искривление головок ТВС при определенных значениях делает невозможным эксплуатацию активной зоны реактора. Основным критерием качества контроля разновысотности головок ТВС является минимизация погрешности измерения. Поэтому для повышения точности измерений необходимо совершенствовать бесконтактный метод определения разновысотности головок ТВС атомного реактора.

Первоначально операции по определению (замеру) разновысотности головок ТВС проводились ручным способом с использованием приспособления для измерения расстояния от головок ТВС до головного разъёма реактора и определения разновысотности характеристик пружинных блоков ТВС. Однако ручной способ не обеспечивает возможности обработки информации в реальном масштабе времени, что приводит к высокой стоимости выполняемых работ.

Обзор литературы. Известен бесконтактный метод [1] определения разновысотности головок ТВС атомного реактора, в основу которого положен контроль разновысотности по серии последовательно полученных изображений одной видеокамерой с разных ракурсов. Метод предусматривает формирование стереопары изображений при точной установке (перемещении) видеокамеры в заданные точки пространства. На основе данного метода разработана математическая модель стереосистемы проецирующей видеокамеры, позволяющая определять усредненные координаты семи точек шестиугольника для 6-ти положений видеокамеры и сравнивать их с заданными координатами точек в ГСК, рассчитывать абсолютную и относительную погрешности измерений.

В работах [1–3] рассмотрены подходы к выбору метода и разработке алгоритма бесконтактного контроля разновысотности цилиндрических объектов, расположенных группами на большой площади (сцене). Исследуемые объекты расположены в строго заданном геометрическом порядке, и визуально могут рассматриваться как «ячейки» из семи цилиндров, причём шесть из них находятся в вершинах правильного шестиугольника, а седьмой – в его геометрическом центре. Исследуемые объекты располагаются в водной среде. Осветительное устройство закреплено на видеокамере, освещая фрагмент сцены непосредственно перед фотокамерой.

Для повышения безопасности проводимых ядерноопасных работ и с целью удовлетворения требованиям рабочего технологического регламента безопасной эксплуатации энергоблока сотрудниками ЮНЦ РАН совместно с сотрудниками НИИ многопроцессорных вычислительных систем имени академика А.В. Каляева Южного федерального университета (НИИ МВС ЮФУ), Волгоградской АЭС и кафедры радиоэлектронных средств защиты и сервиса технологического института ЮФУ разработана бесконтактная система определения разновысотности головок ТВС на основе метода обработки телевизионного изображения, полученного специальной телевизионной системой («Диаконт») СТП-ПМ-100 на основе видикона, являющейся компонентом машины перегрузки топлива энергоблока 1 Волгоградской АЭС.

Применение же видеокамер на ПЗС-матрицах не оценивалось в ранее описанной системе. Известно, что ПЗС-матрицы, помимо меньших массогабаритных показателей, по сравнению с видиконами не требуют высокого напряжения питания, обеспечивают меньшую шумность изображения на пиксель, не искажают цвета в жёлтые тона, гарантируют больший натурализм в зелёных тонах. ПЗС-матрицы более устойчивы к радиационному излучению, а, следовательно, имеют больше преимуществ для использования в атомной энергетике.

В подтверждении к сказанному заметим, что фирма «Диаконт» [4] наладила производство системы телевизионной специальной СТС-ТТО-3. Система предназначена для телевизионного контроля за транспортно-технологическими операциями с ВКУ реактора, с транспортными контейнерами ТК-13 и чехлами со свежим топливом. Применение системы обеспечивает существенное повышение безопасности операций, снижение дозовых нагрузок на персонал и сокращение времени работ.

Постановка задачи. Цель исследований состоит в разработке математической модели регистрирующей видеокамеры на основе ПЗС-матриц, которая позволит оценить методическую погрешность измерения разницы высот регулярно расположенных объектов, которыми являются головки тепловыделяющей сборки атомного реактора. Использование бесконтактного метода определения разницы высот головок ТВС на основе реконструкции трехмерной сцены по серии стереопар изображений с разных ракурсов в водной среде в активной зоне реактора энергоблока АЭС определяет актуальность исследований, обеспечивающих сокращение временных затрат из-за транспортно-технологических операций.

Исследуемым объектом в разработанной модели формирования изображений является «ячейка» ТВС с семью головками, верхние границы которых представляют эллипсы на изображении. При создании идеализированной модели формирования изображений «ячейка» представляется регулярной структурой в виде правильного шестиугольника с семью точками в центре и его вершинах на окружности радиусом R , являющимися центрами тяжести эллипсов [1–3]. Измерение разницы высот геометрических объектов осуществляется применением методов фотограмметрии на основе стереопары изображений. Видеокамера перемещается в пределах «соты» по кругу диаметром D и последовательно формирует изображения с шестью ракурсов. Для формирования трехмерной информации о сцене используются 15 стереопар, полученных как комбинации изображений шести положений видеокамер. Разницы высот определяется в глобальной системе координат (ГСК) координатой по оси OY , начало которой совпадает с центральной точкой шестиугольника, ось OY направлена вверх, ось OZ – перпендикулярна одной из сторон шестиугольника.

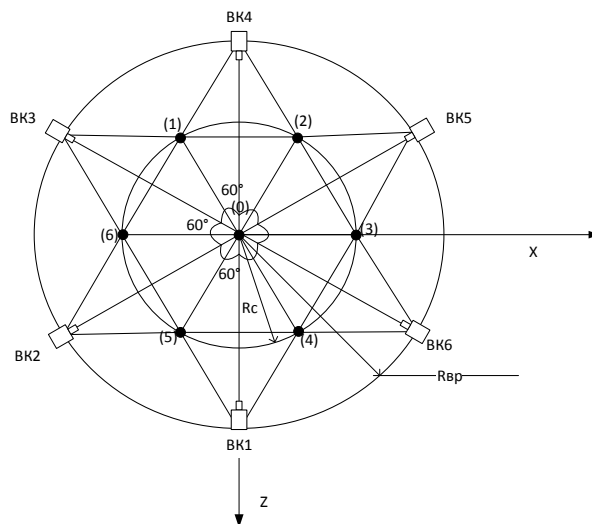


Рис. 1. Положения видеокамеры в процессе измерения разницы высот

Разработанная в среде Mathcad модель ориентирована на использование видеокамеры CDR 3223 Vaxall с фокусным расстоянием объектива $f_{об}=24$ мм, размером ПЗС-матрицы $7,2 \times 5,3$ мм), и разрешением 800×600 . Кроме того, определено, что получаемое изображение объекта должно занимать 80–90 % размера ПЗС-матрицы.

Оптический центр видеокамеры располагается на окружности, перпендикулярной к центру которой является ось штанги. Отметим, что ось штанги является перпендикулярной к плоскости шестиугольника в его геометрическом центре (0). Высота подвеса видеокамеры над сотой определяется исходя из одновременного наблюдения всех семи точек в «ячейке». При этом оптическая ось видеокамеры должна проходить через точку (0).

При этом начальные трехмерные координаты точек задаются в виде матриц в глобальной системе координат (ГСК), не совпадающей со стандартной системой координат видеокамеры (ССК):

$$\|M\| = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \frac{-R}{2} & 0 & -\frac{R\sqrt{3}}{2} \\ \frac{R}{2} & 0 & -\frac{R\sqrt{3}}{2} \\ R & 0 & 0 \\ \frac{R}{2} & 0 & \frac{R\sqrt{3}}{2} \\ \frac{-R}{2} & 0 & \frac{R\sqrt{3}}{2} \\ -R & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Для радиуса соты ТВС $R=234$ мм результаты расчетов по формуле (1) координат вершин шестиугольника сведены в табл. 1.

Таблица 1

Координаты вершин шестиугольника в ГСК, м

Номер головки ТВС	X	Y	Z
0	0	0	0
1	-0,117	0	-0,203
2	0,117	0	-0,203
3	0,234	0	0
4	0,117	0	0,203
5	-0,117	0	0,203
6	-0,234	0	0

Для определения координат проекций семи точек в изображении используется стандартная система координат (ССК) видеокамеры. Пересчет координат точек из ГСК в ССК происходит с учетом углов ее поворота относительно осей OX, OY, OZ.

В ходе исследования выяснено, что видеокамера может находиться в шести положениях. В статье для примера будет рассмотрено только четыре положения, на примере которых могут быть исследованы остальные положения.

Связь между координатами точек в глобальной и стандартной системе описывается соотношениями

$$\begin{aligned} \|M_{k1}\| &= \Pi_1 \cdot \|M\| \cdot \vec{T}; \|M_{k2}\| = \Pi_2 \cdot \|M\| \cdot \vec{T}; \|M_{k3}\| = \Pi_3 \cdot \|M\| \cdot \vec{T}; \\ \|M_{k4}\| &= \Pi_4 \cdot \|M\| \cdot \vec{T}, \end{aligned} \quad (2)$$

где M и M_k – векторы пространственных координат точек в глобальной и стандартной системах, \vec{T} – трехмерный вектор смещения начала координат глобальной системы относительно начала координат стандартной; Π_1, Π_2, Π_3 – матрицы размерности 3×3 , описывающие поворот стандартной системы каждого положения видеокамеры относительно глобальной.

Матрицы поворота относительно осей OX, OY, OZ :

$$\|P_\alpha\| = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}; \|P_\beta\| = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix}; \quad (3)$$

$$\|P_\gamma\| = \begin{pmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

При этом углы поворота α, β, γ относительно осей OX, OY, OZ для i -го положения видеокамеры $i = \overline{1,6}$ определяются формулами:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{2H}{D} \right); \beta = \frac{\pi}{3}(i - 1) - \pi; \gamma = 0.$$

Таблица 2

Координаты вершин шестиугольника в ССК для трех положений видеокамеры, м

Номер головки ТВС	Первое положение			Второе положение		
	X	Y	Z	X	Y	Z
0	0	0	2,236	0	0	2,236
1	0,117	0,091	2,417	0,234	0	2,236
2	-0,117	0,091	2,417	0,117	0,091	2,417
3	-0,234	0	2,236	-0,117	0,091	2,417
4	-0,117	-0,091	2,055	-0,234	0	2,236
5	0,117	-0,091	2,055	-0,117	-0,091	2,055
6	0,234	0	2,236	0,117	-0,091	2,055
Номер головки ТВС	Третье положение			Четвертое положение		
	X	Y	Z	X	Y	Z
0	0	0	2,236	0	0	2,236
1	0,117	-0,091	2,055	-0,117	-0,091	2,055
2	0,234	0	2,236	0,117	-0,091	2,055
3	0,117	0,091	2,417	0,234	0	2,236
4	-0,117	0,091	2,417	0,117	0,091	2,417
5	-0,234	0	2,236	-0,117	0,091	2,417
6	-0,117	-0,091	2,055	-0,234	0	2,236

Модель проецирующей видеокамеры характеризуется фокусным расстоянием, размерами и разрешением матрицы. В предложенной математической модели проводится фотограмметрический расчет координат точек в ССК видеокамеры, пересчет координат точек в плоскости изображения видеокамеры.

В стандартной системе координатами проекций точек трехмерного пространства являются координаты (x, y) в плоскости изображения видеокамеры:

$$x = f \frac{X}{Z}; y = f \frac{Y}{Z}. \quad (5)$$

Результаты расчетов по формуле (5) сведены в табл. 3.

Таблица 3

Координаты вершин шестиугольника в естественных единицах фотоприемника, м

Номер головки ТВС	Первое положение		Второе положение	
	X	Y	X	Y
0	0	0	0	0
1	$1,162 \cdot 10^{-3}$	$8,998 \cdot 10^{-4}$	$2,512 \cdot 10^{-3}$	0
2	$-1,162 \cdot 10^{-3}$	$8,998 \cdot 10^{-4}$	$1,162 \cdot 10^{-3}$	$8,998 \cdot 10^{-4}$
3	$-2,512 \cdot 10^{-3}$	0	$-1,162 \cdot 10^{-3}$	$8,998 \cdot 10^{-4}$
4	$-1,367 \cdot 10^{-3}$	$-1,059 \cdot 10^{-3}$	$-2,512 \cdot 10^{-3}$	0
5	$1,367 \cdot 10^{-3}$	$-1,059 \cdot 10^{-3}$	$-1,367 \cdot 10^{-3}$	$-1,059 \cdot 10^{-3}$
6	$2,512 \cdot 10^{-3}$	0	$1,367 \cdot 10^{-3}$	$-1,059 \cdot 10^{-3}$
Номер головки ТВС	Третье положение		Четвертое положение	
	X	Y	X	Y
0	0	0	0	0

Окончание табл. 3

1	$1,367 \cdot 10^{-3}$	$-1,059 \cdot 10^{-3}$	$-1,367 \cdot 10^{-3}$	$-1,059 \cdot 10^{-3}$
2	$2,512 \cdot 10^{-3}$	0	$1,367 \cdot 10^{-3}$	$-1,059 \cdot 10^{-3}$
3	$1,162 \cdot 10^{-3}$	$8,998 \cdot 10^{-4}$	$2,512 \cdot 10^{-3}$	0
4	$-1,162 \cdot 10^{-3}$	$8,998 \cdot 10^{-4}$	$1,162 \cdot 10^{-3}$	$8,998 \cdot 10^{-4}$
5	$-2,512 \cdot 10^{-3}$	0	$-1,162 \cdot 10^{-3}$	$8,998 \cdot 10^{-4}$
6	$-1,367 \cdot 10^{-3}$	$-1,059 \cdot 10^{-3}$	$-2,512 \cdot 10^{-3}$	0

В современной телевизионной технике в качестве преобразователей оптического изображения в электрические сигналы используются матричные фотоприемники. В этом случае для описания изображения видеокамеры необходимо выразить координаты точек двумерной непрерывной системы (x, y) в координатах точек двумерной дискретной системы (u, v) матричного фотоприемника

$$u = \frac{x}{w} + u_0; v = \frac{y}{h} + v_0. \quad (6)$$

В (6) u_0, v_0 – координаты главной точки относительно начала координат фотоприемника (в естественных координатах фотоприемника); w и h – масштабы вдоль осей ox и oy .

Предложенная математическая модель позволяет определять номер пиксела, в котором находится центр тяжести головки ТВС (табл. 4). В случае, если двумерные координаты не попадают в пределы фоточувствительной матрицы, программа присваивает элементу нулевое значение пикселя.

Таблица 4

Координаты точек шестиугольника в естественных единицах фотоприемника, пкс

Номер головки ТВС	Первое положение		Второе положение	
	х	у	х	у
0	0	0	0	0
1	130	102	280	-1
2	-130	102	130	102
3	-280	1	-130	102
4	-152	-120	-280	1
5	152	-120	-152	-120
6	280	-1	152	-120
Номер головки ТВС	Третье положение		Четвертое положение	
	х	у	х	у
0	0	0	0	0
1	152	-120	-152	-120
2	280	-1	152	-120
3	130	102	280	0
4	-130	102	130	102
5	-280	1	-130	102
6	-152	-120	-280	0

Таким образом, программа выдает номера пикселов по осям ox и oy для каждой точки, являющейся центром тяжести головки ТВС.

В результате пересчета координат возникает необходимость дискретизации [5] результатов с целью определения координат семи точек в естественных единицах фотоприемника целым числом, что в результате обратного пересчета координат точек из плоскости изображения видеокамеры в ССК дает погрешность дискретизации. Для примера работоспособности модели возьмем 3 комбинации положений видеокамер (первое-второе положения, первое-третье положения, первое-четвертое положения) (рис. 2).

При этом, имея координаты точек в естественных единицах фотоприемника в дискретных системах координат видеокамеры в трех положениях видеокамеры, можно вычислить векторы трехмерных координат точек во всех положениях (табл. 5)

$$\begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1^T \cdot A_1^{-T} \cdot A_1^{-1} \cdot v_1 & -v_1^T \cdot A_1^{-T} \cdot R^T \cdot A_2^{-1} \cdot v_1 \\ -v_1^T \cdot A_1^{-T} \cdot R^T \cdot A_2^{-1} \cdot v_2 & v_2^T \cdot A_2^{-T} \cdot A_2^{-1} \cdot v_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_1^T \cdot A_1^{-T} \cdot R^T \\ v_2^T \cdot A_2^{-T} \end{bmatrix} \cdot \vec{t}. \quad (7)$$

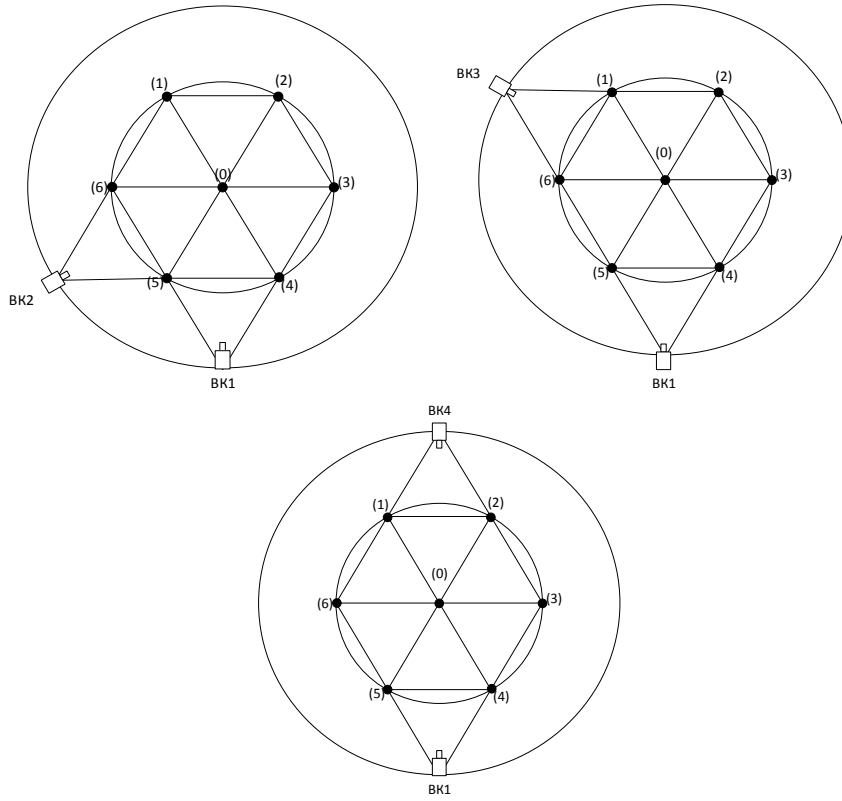


Рис. 2. Стереопары выбранных положений видеокамеры

Используя выражение (7), вычисляются трехмерные координаты вектора \vec{M} в каждом положении видеокамеры.

Для первого (BK1) и второго положений (BK2) видеокамер при комбинации BK1-BK2:

$$\vec{M}_1 = Z_1 \cdot A_1^{-1} \cdot v_1 ; \vec{M}_2 = Z_2 \cdot A_2^{-1} \cdot v_2 . \tag{8}$$

Для первого (BK1) и третьего положений (BK3) видеокамер при комбинации BK1-BK3:

$$\vec{M}_1 = Z_1 \cdot A_1^{-1} \cdot v_1 ; \vec{M}_3 = Z_3 \cdot A_3^{-1} \cdot v_3 . \tag{9}$$

Для первого (BK1) и четвертого положений (BK4) видеокамеры при комбинации BK1-BK4:

$$\vec{M}_1 = Z_1 \cdot A_1^{-1} \cdot v_1 ; \vec{M}_4 = Z_4 \cdot A_4^{-1} \cdot v_4 . \tag{10}$$

Результаты расчетов по формулам (8)–(10) сведены в табл. 5.

Таблица 5

Рассчитанные координаты вершин шестиугольника в ССК, м

Номер головки ТВС	BK1 (BK1-BK2)			BK2 (BK1-BK2)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
0	0	0	2,236	0	0	2,236
1	0,118	0,091	2,418	0,235	$-8,229 \cdot 10^{-4}$	2,236

Окончание табл. 5

Номер головки ТВС	BK1 (BK1–BK2)			BK2 (BK1–BK2)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
2	-0,118	0,091	2,419	0,118	0,091	2,419
3	-0,235	$8,227 \cdot 10^{-4}$	2,235	-0,118	0,091	2,417
4	-0,117	-0,091	2,054	-0,235	$8,228 \cdot 10^{-4}$	2,235
5	0,117	-0,091	2,055	-0,117	-0,091	2,055
6	0,235	$-8,229 \cdot 10^{-4}$	2,236	0,117	-0,091	2,054
Номер головки ТВС	BK1 (BK1–BK3)			BK3 (BK1–BK3)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
0	0	0	2,236	0	0	2,236
1	0,118	0,091	2,418	0,117	-0,091	2,054
2	-0,118	0,091	2,418	0,235	$-8,232 \cdot 10^{-4}$	2,237
3	-0,235	$8,232 \cdot 10^{-4}$	2,237	0,118	0,091	2,417
4	-0,117	-0,091	2,054	-0,118	0,091	2,418
5	0,117	-0,091	2,054	-0,235	$8,231 \cdot 10^{-4}$	2,236
6	0,235	$-8,23 \cdot 10^{-4}$	2,236	-0,117	-0,091	2,055
Номер головки ТВС	BK1 (BK1–BK4)			BK4 (BK1–BK4)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
0	0	0	2,236	0	0	2,236
1	0,118	0,091	2,417	-0,117	-0,091	2,055
2	-0,118	0,091	2,417	0,117	-0,091	2,055
3	-0,235	$8,232 \cdot 10^{-4}$	2,237	0,235	0	2,235
4	-0,117	-0,091	2,055	0,118	0,091	2,417
5	0,117	-0,091	2,055	-0,118	0,091	2,417
6	0,235	$-8,228 \cdot 10^{-4}$	2,235	-0,235	0	2,237

Разработанная математическая модель позволяет пересчитать полученные в ССК координаты семи точек для 15 стереопар, полученных как комбинации 6 положений видеокамеры, в координаты этих точек в ГСК. В табл. 5,6 для примера представлены только две комбинации (первое–второе положения, второе–третье положения).

Таблица 6

Координаты вершин шестиугольника в ГСК, м

Номер головки ТВС	BK1 (BK1–BK2)			BK2 (BK1–BK2)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
0	0	0	0	0	0	0
1	-0,118	$-9,493 \cdot 10^{-5}$	-0,203	-0,118	$-5,61 \cdot 10^{-4}$	-0,203
2	0,118	$-5,948 \cdot 10^{-4}$	-0,204	0,118	$-5,948 \cdot 10^{-4}$	-0,204
3	0,235	$1,055 \cdot 10^{-3}$	$2,706 \cdot 10^{-4}$	0,234	$1,157 \cdot 10^{-4}$	$7,1 \cdot 10^{-4}$

Окончание табл. 6

Номер головки ТВС	BK1 (BK1–BK2)			BK2 (BK1–BK2)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
4	0,117	$4,171 \cdot 10^{-4}$	0,204	0,117	$9,914 \cdot 10^{-4}$	0,203
5	-0,117	$-3,367 \cdot 10^{-5}$	0,203	-0,117	$-3,367 \cdot 10^{-5}$	0,203
6	-0,235	$-6,155 \cdot 10^{-4}$	$6,09 \cdot 10^{-4}$	-0,235	$1,594 \cdot 10^{-4}$	$1,931 \cdot 10^{-4}$
Номер головки ТВС	BK1 (BK1–BK3)			BK3 (BK1–BK3)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
0	0	0	0	0	0	0
1	-0,118	$-4,33 \cdot 10^{-6}$	-0,203	-0,118	$2,76 \cdot 10^{-4}$	-0,203
2	0,118	$-3,055 \cdot 10^{-4}$	-0,204	0,117	$-9,341 \cdot 10^{-4}$	-0,203
3	0,235	$4,98 \cdot 10^{-4}$	$-8,448 \cdot 10^{-4}$	0,235	$7,463 \cdot 10^{-5}$	$-6,69 \cdot 10^{-4}$
4	0,117	$2,76 \cdot 10^{-4}$	0,203	0,117	$-4,33 \cdot 10^{-6}$	0,204
5	-0,117	$4,677 \cdot 10^{-4}$	0,204	-0,117	$6,214 \cdot 10^{-4}$	0,204
6	-0,235	$-6,987 \cdot 10^{-4}$	$4,428 \cdot 10^{-4}$	-0,234	$-1,012 \cdot 10^{-4}$	$6,752 \cdot 10^{-5}$
Номер головки ТВС	BK1 (BK1–BK4)			BK2 (BK1–BK4)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
0	0	0	0	0	0	0
1	-0,118	$4,802 \cdot 10^{-5}$	-0,203	-0,117	$-3,844 \cdot 10^{-5}$	-0,203
2	0,118	$4,802 \cdot 10^{-5}$	-0,203	0,117	$-3,844 \cdot 10^{-5}$	-0,203
3	0,235	$4,794 \cdot 10^{-4}$	$-8,819 \cdot 10^{-4}$	0,235	$4,409 \cdot 10^{-4}$	$-8,819 \cdot 10^{-4}$
4	0,117	$-3,844 \cdot 10^{-5}$	0,203	0,118	$4,802 \cdot 10^{-5}$	0,203
5	-0,117	$-3,844 \cdot 10^{-5}$	0,203	-0,118	$4,802 \cdot 10^{-5}$	0,203
6	-0,235	$-4,792 \cdot 10^{-4}$	$8,815 \cdot 10^{-4}$	-0,235	$-4,407 \cdot 10^{-4}$	$8,815 \cdot 10^{-4}$

При этом модель позволяет найти сопряженные точки (точки соответствия при идентификации характерных фрагментов на двух полученных изображениях), а затем определить абсолютную (модуль разности между изначально заданным значением величины координаты и её рассчитанным значением) и относительную погрешность (отношение абсолютной погрешности к модулю рассчитанного значения величины координаты) (табл. 7).

Таблица 7

**Абсолютная погрешность определения координат вершин шестиугольника
в ГСК, 10^{-4} м**

Номер головки ТВС	BK1 (BK1–BK2)			BK2 (BK1–BK2)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
0	0	0	0	0	0	0
1	8,686	0,949	5,054	9,948	5,61	2,871
2	-9,275	5,948	16,066	-9,275	5,948	16,066

Окончание табл. 7

Номер головки ТВС	BK1 (BK1–BK2)			BK2 (BK1–BK2)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
3	-7,122	-10,551	-2,706	-4,578	-1,157	-7,1
4	-0,622	-4,171	-10,092	-2,398	-9,914	-7,012
5	1,15	0,337	-1,992	1,15	0,337	-1,992
6	7,588	6,155	-6,09	5,192	-1,594	-1,931
Номер головки ТВС	BK1 (BK1–BK3)			BK3 (BK1–BK3)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
0	0	0	0	0	0	0
1	8,58	0,043	3,058	6,151	-2,76	4,461
2	-8,934	3,055	9,692	-4,407	9,341	7,081
3	-8,431	-4,98	8,448	-5,385	-0,746	6,69
4	-0,787	-2,76	-7,557	1,641	0,043	-8,959
5	0,563	-4,677	-11,003	-1,106	-6,214	-10,039
6	7,784	6,987	-4,428	1,289	1,012	-0,675
Номер головки ТВС	BK1 (BK1–BK4)			BK4 (BK1–BK4)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
0	0	0	0	0	0	0
1	8,518	-0,48	1,905	1,156	0,384	1,906
2	-8,518	-0,48	1,905	-1,156	0,384	1,906
3	-8,474	-4,794	8,819	-6,836	-4,409	8,819
4	-1,156	0,384	-1,906	-8,518	-0,48	-1,905
5	1,156	0,384	-1,906	8,518	-0,48	-1,905
6	7,269	4,792	-8,815	8,906	4,407	-8,815

Обсуждение. Таким образом, сравнивая значения абсолютной погрешности по координате, которая определяет высоту объекта, можно выявить две закономерности.

Закономерность 1. При определении трехмерных координат шестиугольника для стереопар с одинаковой базой (отрезком, заключенным между оптическими центрами положений видеокамер) абсолютная погрешность высоты объекта зависит от расстояния до объекта.

Таким образом, при комбинации BK1-BK2 одинаковыми погрешностями обладают точки (2) и (5). Причем для вершины (2), которая наиболее удалена от стереопары, погрешность максимальна и равна $5,948 \cdot 10^{-4}$ м, а для вершины (5), которая максимально приближена к стереопаре, минимальна ($0,337 \cdot 10^{-4}$ м). Максимальная погрешность больше минимальной в 17,6 раз.

При комбинации положений видеокамер BK1-BK3 одинаковыми погрешностями при расчете для двух положений обладают вершины шестиугольника (1) и (4). Причем для BK1 максимальна погрешность для вершины (4), которая является

наиболее близкой к положению ВК1, и равна $2,76 \cdot 10^{-4}$ м, а для вершины (1), которая является наиболее удаленной от положения ВК1, – минимальна ($0,043 \cdot 10^{-4}$ м). Для ВК 3, наоборот, погрешность максимальна для вершины (1), она же является наиболее близкой по отношению к положению ВК3 и равна $2,76 \cdot 10^{-4}$ м. Минимальна же погрешность для вершины (4), которая является наиболее удаленной от положения ВК3, и равна $0,043 \cdot 10^{-4}$ м. Максимальная погрешность в этом случае больше минимальной в 64,2 раза.

При комбинации положений видеокамер ВК1-ВК4 одинаковыми погрешностями при расчете для двух положений обладают вершины (1) и (2) и вершины (4) и (5). Причем для ВК1 погрешность максимальна для вершин (1) и (2), которые наиболее удалены от положения ВК1, и равна $0,48 \cdot 10^{-4}$ м, а для вершин (4) и (5) – минимальна и равна $0,384 \cdot 10^{-4}$ м. Эти же вершины наиболее приближены к положению ВК1, для ВК 4 – наоборот. Максимальная погрешность в этом случае больше минимальной в 1,25 раза.

Закономерность 2. На абсолютную погрешность измерения разнвысотности объектов на основе цифровой телевизионной системы оказывает влияние расстояние базы между стереопарой. Базой является отрезок, заключенный между оптическими центрами видеокамер. При этом, при максимальной базе между двумя несоосно ориентированными видеокамерами разница в максимальной и минимальной погрешности незначительна.

Заключение. Таким образом, имея 15 комбинаций положений видеокамер, имеет смысл говорить об использовании только трех комбинаций, отличающихся друг от друга расстоянием базы между видеокамерами. На основе проведенных исследований выявлено и доказано, что длина базы оказывает влияние на погрешность измерения разнвысотности объектов, при этом имеет значение удаленность объекта от видеокамеры и его положение относительно видеокамеры (справа-слева).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балабаев С.Л., Радецкий В.Г., Румянцев К.Е. Телеметрический метод контроля разнвысотности цилиндрических объектов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 3 (80). – С. 94-110.
2. Балабаев С.Л., Радецкий В.Г., Румянцев К.Е. Видеосистема бесконтактного контроля разнвысотности объектов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2006. – № 9-1 (64). – С. 157-161.
3. Балабаев С.Л., Румянцев К.Е., Радецкий В.Г., Коробкин В.В. Методы бесконтактного определения разнвысотности головок ТВС и их описание // Отчет «Разработка и внедрение системы бесконтактного определения разнвысотности головок ТВС в активной зоне реактора энергоблока 1 Волгодонской АЭС». – Таганрог: ТРТУ, 2006. – 102 с.
4. Система телевизионная специальная СТС-ПМ-100В. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ИТЦЯ.463432.005 ТО 2000. Фирма «Диаконт», г. Санкт-Петербург.
5. Сойфер В.А. Методы компьютерной обработки изображений. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.
6. Лозовская Е.Г. Моделирование алгоритма обнаружения объектов в изображении при передвижении автономного мобильного робота по неизвестной местности // Международная молодежная конференции «Современные проблемы прикладной математики и информатики» в рамках Фестиваля науки 19–21 сентября 2012 г.: Материалы конф. / Под ред. М.Ю. Орлова. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2012. – С. 88-90.
7. Лозовская Е.Г. Исследования по уменьшению погрешности измерения разнвысотности головок тепловыделяющих сборок ТВС атомного реактора // Современные тенденции в образовании и науке: Сборник научных трудов по материалам МНПК 31 октября 2013 г.: в 26 частях. Ч. 13: М-во обр. и науки РФ. – Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – С. 91.

8. Лозовская Е.Г. Модель регистрирующей видеокамеры для измерения разновысотности регулярно расположенных объектов // Фестиваль Недели науки Юга России: Материалы Региональной студенческой конференции: В 3 т. Т. 1. Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2013. – С. 200-202.
9. Lozovskaya E., Balabaev S., Rumyantsev K. The mathematical model of the recording video camera for the height measurement of the regularly situated objects // Materiały X Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Strategiczne pytania światowej nauki - 2014» Vol. 31. Matematyka. Fizyka.: Przemysł. Nauka i studia. – P. 27-34.
10. Лозовская Е.Г. Модель системы технического зрения для измерения разновысотности головок тепловыделяющей сборки атомного реактора // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 3 февраля 2014 г.; В 7 ч. Ч. IV. – М.: АР-Консалт, 2014. – С. 72-73.
11. Лозовская Е.Г. Модель регистрирующей видеокамеры для измерения разновысотности регулярно расположенных объектов // Сборник тезисов научно-технической конференции «Техническое зрение в системах управления-2014». Россия, ИКИ РАН, Москва, 18-20 марта 2014 г. – С. 92-95.
12. Лозовская Е.Г. Оценка погрешности измерения разновысотности головок тепловыделяющих сборок атомной электростанции // Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития: Сб. науч. тр. по мат-лам Междунар. науч.-практ. конф. 28 февраля 2014 г. Ч. 10. – Тамбов, 2014.
13. Лозовская Е.Г. Моделирование стереосистемы проецирующей видеокамеры для оценки методической погрешности измерения разновысотности геометрических объектов // X Ежегодная научная конференция студентов и аспирантов базовых кафедр Южного научного центра РАН: тезисы докладов (г. Ростов-на-Дону, 14–29 апреля 2014 г.). – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2014. – С. 94-95.

REFERENCES

1. Balabaev S.L., Radetskiy V.G., Rumyantsev K.E. Telemetricheskiy metod kontrolya raznovysotnosti tsilindricheskikh ob"ektov [Telemetry control method raznovysotnoet cylindrical objects], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2008, No. 3 (80), pp. 94-110.
2. Balabaev S.L., Radetskiy V.G., Rumyantsev K.E. Videosistema beskontaktnogo kontrolya raznovysotnosti ob"ektov [Video system for the contactless control of raznovysotnoet objects], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2006, No. 9-1 (64), pp. 157-161.
3. Balabaev S.L., Rumyantsev K.E., Radetskiy V.G., Korobkin V.V. Metody beskontaktnogo opredeleniya raznovysotnosti golovok TVS i ikh opisaniye [Methods for the contactless determination of raznovysotnoet heads of FA and their description], *Otchet «Razrabotka i vnedrenie sistemy beskontaktnogo opredeleniya raznovysotnosti golovok TVS v aktivnoy zone reaktora energobloka 1 Volgodonskoy AES»* [The report "Development and implementation of a system for the contactless determination of raznovysotnoet heads fuel assemblies in the reactor core of unit 1 Volgodonsk NPP"]. Taganrog: TRTU, 2006, 102 p.
4. Sistema televizionnaya spetsial'naya STS-PM-100V [System television special STS-PM-100V], *Tekhnicheskoe opisaniye i instruktsiya po ekspluatatsii ITTsYa.463432.005 TO 2000* [Technical description and operating instructions ITZA THEN 2000]. Firma «Diakont», g. St. Petersburg.
5. Soyfer V.A. Metody komp'yuternoy obrabotki izobrazheniy [Methods of computer image processing]. 2-nd ed., ispr. Moscow: Fizmatlit, 2003, 784 p.
6. Lozovskaya E.G. Modelirovaniye algoritma obnaruzheniya ob"ektov v izobrazhenii pri peredvizhenii avtonomnogo mobil'nogo robota po neizvestnoy mestnosti [The simulation algorithm for detecting objects in the image when the movement of the Autonomous mobile robot in an unknown location], *Mezhdunarodnaya molodezhnaya konferentsiya «Sovremennyye problemy prikladnoy matematiki i informatiki» v ramkakh Festivalya nauki 19–21 sentyabrya 2012 g.: Materialy konf.* [International youth conference "Modern problems of applied mathematics and Informatics" at the Festival of science in September 19-21, 2012: proceedings of the conference]. Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 2012, pp. 88-90.

7. *Lozovskaya E.G.* Issledovaniya po umen'sheniyu pogreshnosti izmereniya raznovysotnosti golovok teplovydelyayushchikh sborok TVS atomnogo reaktora [Research to reduce the error of measurement of raznovysotnoet heads of fuel assemblies fuel assemblies of a nuclear reactor], *Sovremennye tendentsii v obrazovanii i nauke: sbornik nauchnykh trudov po materialam MNPk 31 oktyabrya 2013 g.: v 26 chastyakh. Ch. 13: M-vo obr. i nauki RF* [Modern trends in education and science: proceedings of the materials ISIC 31 October 2013: in 26 parts. PM 13: the Ministry of education and science of the Russian Federation]. Tambov: Izd-vo TROO «Biznes-Nauka-Obshchestvo», 2013, pp. 91.
8. *Lozovskaya E.G.* Model' registriruyushchey videokamery dlya izmereniya raznovysotnosti regulyarno raspolozhennykh ob"ektov [Model recording video camera to measure raznovysotnoet regularly spaced objects], *Festival' Nedeli nauki Yuga Rossii. Materialy Regional'noy studencheskoy konferentsii: v 3 t. T. 1. Yuzhnyy federal'nyy universitet* [The festival of science Week in the South of Russia. Proceedings of the Regional student conference: 3 vol. Vol. 1. Southern Federal University]. Rostov-on-Don: Izd-vo Yuzhnogo federal'nogo universiteta, 2013, pp. 200-202.
9. *Lozovskaya E., Balabaev S., Rumyantsev K.* The mathematical model of the recording video camera for the height measurement of the regularly situated objects, *Materialy X Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Strategiczne pytania światowej nauki - 2014» Vol. 31. Matematyka. Fizyka.: Przemysł. Nauka i studia.* – P. 27-34.
10. *Lozovskaya E.G.* Model' sistemy tekhnicheskogo zreniya dlya izmereniya raznovysotnosti golovok teplovydelyayushchey sborki atomnogo reaktora [The model of the vision system to measure raznovysotnoet heads fuel Assembly of a nuclear reactor], *Nauka, obrazovanie, obshchestvo: tendentsii i perspektivy: Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy na-uchno-prakticheskoy konferentsii 3 fevralya 2014 g. v 7 chastyakh. Ch. IV* [Science, education, society: trends and prospects: proceedings of the International scientific-practical conference February 3, 2014. 7 parts. Part. IV]. Moscow: AR-Konsalt, 2014, pp. 72-73.
11. *Lozovskaya E.G.* Model' registriruyushchey videokamery dlya izmereniya raznovysotnosti regulyarno raspolozhennykh ob"ektov [Model recording video camera to measure raznovysotnoet regularly spaced objects], *Sbornik tezisov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Tekhnicheskoe zrenie v sistemakh upravleniya-2014»* [Abstracts of scientific-technical conference "Technical vision systems management-2014"]. Rossiya, IKI RAN, Moskva, 18-20 marta 2014 g., pp. 92-95.
12. *Lozovskaya E.G.* Otsenka pogreshnosti izmereniya raznovysotnosti golovok teplovydelyayushchikh sborok atomnoy elektrostantsii [The estimation error of measurement of raznovysotnoet heads fuel assemblies of nuclear power plants], *Nauka, obrazovanie, obshchestvo: problemy i perspektivy razvitiya: Sb. nauch. tr. po mat-lam Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 28 fevralya 2014 g.* [Science, education, society: problems and prospects: proceedings of materialmen International scientific-practical conference February 28, 2014]. Part. 10. Tambov, 2014.
13. *Lozovskaya E.G.* Modelirovanie stereosistemy proetsiruyushchey videokamery dlya otsenki metodicheskoy pogreshnosti izmereniya raznovysotnosti geometricheskikh ob"ektov [Modeling stereo reflex camera to assess the methodological error of measurement of raznovysotnoet geometric objects], *X Ezhegodnaya nauchnaya konferentsiya studentov i aspirantov bazovykh kafedr Yuzhnogo na-uchnogo tsentra RAN: tezisyy dokladov (g. Rostov-na-Donu, 14–29 aprelya 2014 g.)* [X Annual scientific conference of students and postgraduates of the basic departments of the South-science centre Russian Academy of Sciences: abstracts (Rostov-on-don, 14-29 April 2014)]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuNTs RAN, 2014, pp. 94-95.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. С.Е. Мищенко.

Румянцев Константин Евгеньевич – Южный федеральный университет; e-mail: ek.lozovskaya@yandex.ru; 347928, г. Таганрог, ГСП-17А, ул. Чехова, 2; тел.: +78634371902; кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Балабаев Сергей Леонидович – кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; к.т.н.; доцент.

Лозовская Екатерина Геннадьевна – кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; аспирантка.

Rumyantsev Konstantin Evgenyevich – Southern Federal University; e-mail: ek.lozovskaya@yandex.ru; 2, Chekhov street, GSP-17A, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371902; the department of information security of telecommunication systems; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

Balabaev Sergey Leonidovich – the department of information security of telecommunication systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

Lozovskaya Ekaterina Gennad'evna – the department of information security of telecommunication systems; postgraduate student.

УДК 004.67

В.В. Хашковский, А.Н. Шкурко

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ ДАННЫХ

Обсуждаются современные подходы к организации систем обработки больших объемов данных на примере интегрированных систем известных производителей, и модульных решений независимых поставщиков. Основное внимание уделено методам получения и источникам информации для систем обработки данных. Приведены основные методы и источники получения исходной информации и дана их краткая характеристика. Рассмотрены основные этапы обработки информации в системах датамайнинга, начиная от непосредственно получения информации до формирования заключительного вывода по результатам анализа. Для основных этапов обработки приведены примеры существующих программных систем, реализующих необходимый функционал. Рассмотрены также некоторые подходы к определению характеристик документов и приведены примеры программных систем, реализующих эти подходы. Для исследуемых документов приведены основные параметры документов, на основании которых проводится анализ. В заключение делается вывод о состоянии рынка систем бизнес-анализа в России и перспектив их адаптации и внедрения.

Большие данные; датамайнинг; текстмайнинг; машинное обучение; классификация.

V.V. Khashkovsky, A.N. Shkurko

MODERN APPROACHES IN BIG DATA SYSTEMS

This paper discusses the current approaches to the organization of processing large amounts of data on an example of the integrated systems of leading manufacturers of modular and ISV solutions. The main attention is paid to the methods for the preparation and sources of information for data processing systems. The basic methods and sources of background information and a brief description of them is given. The main stages of information processing systems, data mining, ranging from direct information before forming a final conclusion on the results of the analysis. For the main processing steps are presented examples of existing software systems that implement the required functionality. We also consider some of the approaches to the characterization of documents and examples of software systems that implement these approaches. To study the documents shows the main parameters of documents on which the analysis is conducted. In conclusion we consider about the state of the market business intelligence systems in Russia and the prospects for their adaptation and implementation.

Big data; data mining; text mining; machine learning; classification.

Введение. Длительный период развития информационных технологий к настоящему времени привел к ситуации, которую можно охарактеризовать наличием большого объема накопленных в электронном виде данных, в том числе слабо-структурированных и разнотипных (аудио, видео, текст, базы данных). При этом лишь незначительная часть этих данных обладает определенной метаданной – в основном это относится к хорошо структурированным данным в среде баз данных.