

УДК 62-19:621.874:303.732

**СНИЖЕНИЕ РАЗМЕРНОСТИ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
МОСТОВЫХ КРАНОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ****Извеков Ю.А., Гугина Е.М., Анисимов А.Л., Шеметова В.В.***ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: yurij.izvekov@mail.ru*

Показано применение метода главных компонент в задачах оценки качества сложной технической системы – конструкции металлургического мостового крана для снижения размерности данных. Качество представляет собой большое количество разнородных данных, поэтому такая задача представляется достаточно актуальной. Главные компоненты представляют собой ортогональную систему координат, в которой дисперсии компонент характеризуют их статистические свойства. Метод главных компонент еще связан с получением наилучшей проекции точек наблюдения в пространстве меньшей размерности. Выделены пятнадцать показателей, которые влияют на конструкцию крана. Выполнен известный алгоритм метода главных компонент. Вычисления проводились при помощи MS-Excel и Maple 17. На основании полученных данных использовались два максимальных собственных значения, которые несут информационную нагрузку. Для собственных значений построены векторы состояния характеристик конструкции. На основании полученных данных сделан вывод о том, что основными показателями качества таких объектов являются показатели надежности, безопасности и экономические показатели. Размерность снижена с пятнадцати компонент до девяти. Исследована точность метода, показано, что две компоненты несут информационную нагрузку в 65,5%. Это говорит о том, что исследование методом главных компонент проведено успешно, а снижение размерности не приводит к потере информации.

Ключевые слова: снижение размерности, качество, главные компоненты, собственные значения, собственные векторы

**DECREASE IN DIMENSION IN PROBLEMS OF ASSESSMENT OF QUALITY
OF BRIDGE CRANES OF THE METALLURGICAL ENTERPRISE****Izvekov Yu.A., Gugina E.M., Anisimov A.L., Shemetova V.V.***Magnitogorsk State Technical University of G.I. Nosov, Magnitogorsk, e-mail: yurij.izvekov@mail.ru*

Application of a method main a component in problems of assessment of quality of a complex technical system – designs of the metallurgical bridge crane for decrease in dimension of data is shown. The quality represents a large number of diverse data therefore such task predstayaltsya by rather relevant. The main components represent the orthogonal system of coordinates in which dispersions a component characterize their statistical properties. The method main a component is still connected with receiving the best projection of points of observation in space of smaller dimension. Fifteen indicators which influence a crane design are allocated. The known algorithm of a method main a component is executed. Calculations were carried out by means of MS-Excel and Maple 17. On the basis of the obtained data two maximum own values which bear information loading were used. For own values vectors a condition of characteristics of a design are constructed. On the basis of the obtained data the conclusion is drawn that key indicators of quality of such objects are indicators of reliability, safety and economic indicators. The dimension is reduced from fifteen a component to nine. Method accuracy is investigated, it is shown that two components bring information loading to 65.5%. It means that the research main a component is conducted by method successfully, and decrease in dimension does not lead to loss of information.

Keywords: decrease in dimension, quality, main components, own values, own vectors

Деятельность любого предприятия всегда необходимо оценивать, то есть оценивать показатели качества производства и эксплуатации. В предыдущих работах [1, 2] показана важность рассмотрения показателей качества элементов кранового оборудования металлургических предприятий – конструкций мостовых кранов как сложной технической системы. Международный стандарт ГОСТ Р ИСО 9000-2015 [3] предусматривает тщательную разработку измеримых показателей деятельности для облегчения проведения мониторинга оценки деятельности. Согласно ГОСТ Р ИСО 9000-2015 лишь тщательно продуманные показатели облегчают проведение мониторинга и оценки деятельности. Качество

объединяет большое множество характеристик и показателей. Поэтому с целью определения наиболее значимых показателей целесообразно произвести снижение размерности пространства разнородных данных.

Таким образом, снижение размерности данных в задачах оценки качества сложных технических систем металлургических предприятий представляет собой актуальную и важную проблему.

Выделение показателей качества, значения которых оказывают существенное влияние на производственную и эксплуатационную деятельность, очень важно в дальнейшем для принятия управленческих решений.

Целью данной статьи является количественное модельное снижение размерности показателей качества элементов конструкции металлургических мостовых кранов.

Материалы и методы исследования

Различают большое количество многомерных методов снижения размерности: компонентный анализ, метод опорных векторов, метод неотрицательной матричной факторизации, метод нелинейного снижения размерности и визуализации многомерных данных t-SNE [4–6]. Однако практически все методы за исключением компонентного анализа требуют больших трудоемких вычислительных затрат. В наиболее выгодном положении здесь оказывается метод главных компонент, потому что имеется дополнительная информация о состоянии рассматриваемых конструкций кранов. В методе главных компонент линейные комбинации случайных величин определяются характеристическими векторами ковариационной матрицы. Главные компоненты представляют собой ортогональную систему координат, в которой дисперсии компонент характеризуют их статистические свойства.

На основе [1, 2, 7, 8] выделим 15 показателей конструкции металлургического мостового крана, известных в процессе эксплуатации металлургического предприятия на протяжении 15 лет, и представим в табл. 1.

Таблица 1

Показатели качества эксплуатации конструкции

Показатели качества эксплуатации конструкции	
Надежность	1 Количество конструкций, шт
	2 Число наработанных циклов, циклы
	3 Нарботка без вынужденных перерывов, %
	4 Уровень ремонтпригодности, %
	5 Показатели надежности, %
	6 Выполнение руководств эксплуатации, %
	7 Экономические показатели, %
Безопасность	8 Аварийные события, к-во
	9 Тяжелонагруженные режимы работы, %
	10 Нарушения стандартов качества эксплуатации, %
	11 Нарушения требований руководств эксплуатации, %
	12 Нарушения технического обслуживания, %
	13 Социальные и индустриальные риски, к-во
	14 Экологические риски, к-во
	15 Техногенные риски, к-во

В показателях надежности учитываются и экономические. Реализуем метод главных компонент [6].

В табл. 2 представлены показатели процессов по годам (r) эксплуатации и их нормированные данные.

Нормирование показателей необходимо для последующей обработки данных.

С целью получения нормированных данных по каждому показателю вычислено среднее значение (X), среднее квадратическое отклонение S (стандартное отклонение) (1).

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}, \quad (1)$$

где X – среднее значение.

С помощью полученных данных произведено нормирование переменных по формуле (2).

$$u_i = \frac{(x_i - X)}{S}. \quad (2)$$

Далее построена матрица корреляции (3).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (3)$$

Во всех случаях воспользуемся стандартными функциями MS-Excel и его надстройкой «Анализ данных».

Затем были найдены собственные значения λ и собственные векторы следующего вида (4).

$$\lambda_n \begin{pmatrix} x_{n1} \\ x_{n...} \\ x_{n15} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Матрица в табл. 3 обозначена как исходная (5) и сформирована симметричная матрица с отрицательными значениями λ (6).

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{115} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{151} & \dots & a_{1515} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$A = \begin{pmatrix} -\lambda & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & -\lambda \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Через определитель (детерминант) суммы матриц A и A получено выражение (7), правая часть которого является характеристическим уравнением (8), решение которого необходимо для нахождения собственных значений матрицы.

$$\det(A + A) = k_{15}^{15} + k_{...}^{15-n} + \dots + k_1, \quad (7)$$

$$k_{15}^{15} + k_{...}^{15-n} + \dots + k_1 = 0, \quad (8)$$

где k – коэффициент, полученный при нахождении определителя.

Корни уравнения $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{15}$ есть собственные значения матрицы.

После этого для каждого собственного значения (15 значений) построена матрица 9 для последующего нахождения собственных векторов матрицы.

$$A_n = \begin{pmatrix} \lambda_n & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \lambda_n \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Результаты исследования и их обсуждение

Алгоритм метода главных компонент иллюстрируют табл. 2 и 3.

Таблица 2

Нормирование показателей эксплуатации конструкции

г	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Показатели	1	15	18000	95	90	100	100	0	100	1	15	10	0	0	0	
	2	15	19000	95	90	100	99	0	100	1	14	2	0	0	0	
	3	15	20000	95	85	95	99	0	100	1	13	2	0	0	0	
	4	15	17000	90	85	95	100	1	100	5	12	3	1	1	1	
	5	14	16000	90	85	95	99	2	100	6	11	5	2	1	1	
	6	14	18000	90	70	90	100	5	100	7	10	11	5	4	4	
	7	15	18000	85	75	90	100	1	90	8	2	12	1	1	1	
	8	13	19000	85	80	90	100	0	90	2	3	5	5	0	0	
	9	13	20000	85	85	95	100	0	95	1	5	5	5	0	0	
	10	13	18000	80	75	85	80	3	95	1	5	5	5	3	1	2
	11	14	18000	80	80	85	85	4	95	1	4	3	3	4	4	4
	12	12	18000	80	80	85	80	2	95	5	3	2	2	2	1	0
	13	15	18000	70	70	85	80	1	90	3	2	2	2	1	1	1
	14	14	18000	70	60	80	80	0	90	1	1	1	1	0	0	0
	15	14	18000	65	60	80	85	1	95	2	2	2	2	1	1	1
X	14	18200	83,667	78	89,333	93,333	91,8	1	95,667	3	6,8	4,667	1	1	1	
S	0,747	693,333	7,600	7,733	4,800	4,222	8,347	1,244	3,467	2,133	4,560	2,711	1,244	0,800	0,933	
Нормированные показатели	1	1,250	-0,288	1,491	1,552	1,181	0,982	-1,071	1,250	-0,938	1,798	1,967	-1,071	-1,250	-1,071	
	2	1,250	1,154	1,491	1,552	0,139	0,863	-1,071	1,250	-0,938	1,579	-0,984	-1,071	-1,250	-1,071	
	3	1,250	2,596	1,491	0,905	1,181	0,395	0,863	-1,071	1,250	-0,938	1,360	-0,984	-1,071	-1,071	
	4	1,250	-1,731	0,833	0,905	1,181	0,395	0,982	-0,268	1,250	0,938	1,140	-0,615	-0,268	0,000	
	5	-0,089	-3,173	0,833	0,905	1,181	0,395	0,863	0,536	1,250	1,406	0,921	0,123	0,536	0,000	
	6	-0,089	-0,288	0,833	-1,034	0,139	-0,789	0,982	2,946	1,250	1,875	0,702	2,336	2,946	3,750	3,214
	7	1,250	-0,288	0,175	-0,388	0,139	-0,789	0,982	-0,268	-1,635	2,344	-1,053	2,705	-0,268	0,000	
	8	-1,429	1,154	0,175	0,259	1,181	-0,789	0,982	-1,071	-1,635	-0,469	-0,833	0,123	-1,071	-1,071	
	9	-1,429	2,596	0,175	0,905	1,181	1,579	-0,216	-1,071	-0,192	-0,938	-0,395	0,123	-1,071	-1,071	
	10	-1,429	-0,288	-0,482	-0,388	-0,903	0,395	-1,414	1,339	-0,192	-0,938	-0,395	0,123	1,339	0,000	
	11	-0,089	-0,288	-0,482	0,259	-0,903	-1,974	-0,815	2,143	-0,192	-0,938	-0,614	-0,615	2,143	3,750	
	12	-2,768	-0,288	-0,482	0,259	-0,903	-3,158	-1,414	0,536	-0,192	0,938	-0,833	-0,984	0,536	0,000	
	13	1,250	-0,288	-1,798	-1,034	-0,903	0,395	-1,414	-0,268	-1,635	0,000	-1,053	-0,984	-0,268	0,000	
	14	-0,089	-0,288	-1,798	-2,328	-1,944	0,395	-1,414	-1,071	-1,635	-0,938	-1,272	-1,352	-1,071	-1,250	
	15	-0,089	-0,288	-2,456	-2,328	-1,944	0,395	-0,815	-0,268	-0,192	-0,469	-1,053	-0,984	-0,268	0,000	

Таблица 3

Матрица корреляции

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	-0,088	0,283	0,132	0,207	0,490	0,462	-0,249	0,256	0,059	0,473	0,153	-0,249	-0,057	0
2	-0,088	1	0,140	0,154	0,150	0,190	0,028	-0,399	0,118	-0,534	-0,019	-0,119	-0,399	-0,323	-0,31
3	0,283	0,140	1	0,847	0,847	0,224	0,817	-0,063	0,698	0,134	0,853	0,407	-0,063	-0,086	-0,082
4	0,132	0,154	0,847	1	0,8	0,201	0,563	-0,211	0,571	-0,089	0,712	0,125	-0,211	-0,227	-0,246
5	0,207	0,150	0,847	0,800	1	0,304	0,818	-0,253	0,477	0,152	0,66	0,38	-0,253	-0,242	-0,233
6	0,490	0,190	0,224	0,201	0,304	1	0,27	-0,539	0,282	-0,41	0,457	0,006	-0,539	-0,539	-0,377
7	0,462	0,028	0,817	0,563	0,818	0,270	1	-0,164	0,506	0,334	0,685	0,533	-0,164	-0,078	-0,075
8	-0,249	-0,399	-0,063	-0,211	-0,253	-0,539	-0,164	1	0,18	0,395	-0,08	0,274	1	0,927	0,924
9	0,256	-0,118	0,698	0,571	0,477	0,282	0,506	0,180	1	0,034	0,904	0,088	0,18	0,131	0,126
10	0,059	-0,534	0,134	-0,089	0,152	-0,410	0,334	0,395	0,034	1	-0,034	0,528	0,395	0,37	0,272
11	0,473	-0,019	0,853	0,712	0,660	0,457	0,685	-0,080	0,904	-0,034	1	0,178	-0,08	-0,097	-0,073
12	0,153	-0,119	0,407	0,125	0,380	0,006	0,533	0,274	0,088	0,528	0,178	1	0,274	0,261	0,295
13	-0,249	-0,399	-0,063	-0,211	-0,253	-0,539	-0,164	1,000	0,180	0,395	-0,080	0,274	1	0,927	0,924
14	-0,057	-0,323	-0,086	-0,227	-0,242	-0,539	-0,078	0,927	0,131	0,370	-0,097	0,261	0,927	1	0,961
15	0,000	-0,310	-0,082	-0,246	-0,233	-0,377	-0,075	0,924	0,126	0,272	-0,073	0,295	0,924	0,961	1

Затем произведено сложение исходной матрицы (5) с матрицей (9).

$$B_n = A + \Lambda_n = \begin{pmatrix} a_{11} + \lambda_n & \cdots & a_{115} + \lambda_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{151} + \lambda_n & \cdots & a_{1515} + \lambda_n \end{pmatrix} \quad (10)$$

и умножение матрицы (9) на искомый собственный вектор:

$$B_n X_n = \begin{pmatrix} a_{11} + \lambda_n & \cdots & a_{115} + \lambda_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{151} + \lambda_n & \cdots & a_{1515} + \lambda_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{1n} \\ \vdots \\ x_{15n} \end{pmatrix} = 0 \quad (11)$$

Полученная матрица представлена в виде системы уравнений (12)

$$\begin{cases} (a_{11} + \lambda_n)x_{1n} + \dots + (a_{115} + \lambda_n)x_{1n} = 0 \\ \dots \\ (a_{151} + \lambda_n)x_{15n} + \dots + (a_{1515} + \lambda_n)x_{15n} = 0 \end{cases} \quad (12)$$

Выражены корни уравнений через общий множитель c (13).

$$\begin{aligned} x_{1n} &= p_1 c \\ \vdots & \\ x_{15n} &= p_{15} c \end{aligned} \quad (13)$$

Далее записаны корни системы уравнений в виде вектора (14)

$$X_n = \begin{pmatrix} x_{1n} \\ \vdots \\ x_{15n} \end{pmatrix} = c \begin{pmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_{15} \end{pmatrix} \quad (14)$$

Где p определяются при операции (10), а c – выбран произвольным положительным минимальным значением, и X_n собственный вектор.

Все вычисления были выполнены в пакете Maple 17: были найдены собственные значения λ и собственные векторы, удовлетворяющие соотношению (4).

Из 15 столбцов (значений λ) выбраны два значения λ , берущие на себя всю информационную нагрузку (два максимальных значения λ).

На основе табл. 4 построен график (рисунок): собственный вектор, соответствующий собственному значению 4,362 (синяя линия); собственный вектор, соответствующий по величине собственному значению 5,458 (красная линия).

Таблица 4

Таблица максимальных собственных значений и собственных векторов

		Lambda	
		4,362	5,458
Показатели	1	-0,143	-0,186
	2	0,172	-0,076
	3	0,346	-0,173
	4	0,312	-0,662
	5	0,657	0,139
	6	-0,219	-0,533
	7	-0,282	0,225
	8	0,001	-0,225
	9	0,310	0,165
	10	0,156	0,064
	11	-0,018	0,190
	12	-0,045	-0,153
	13	0,151	0,125
	14	-0,197	0,123
	15	0,001	-0,006

В соответствии с полученным графиком производится отбор показателей, оказывающих наибольшее влияние на качество конструкции.

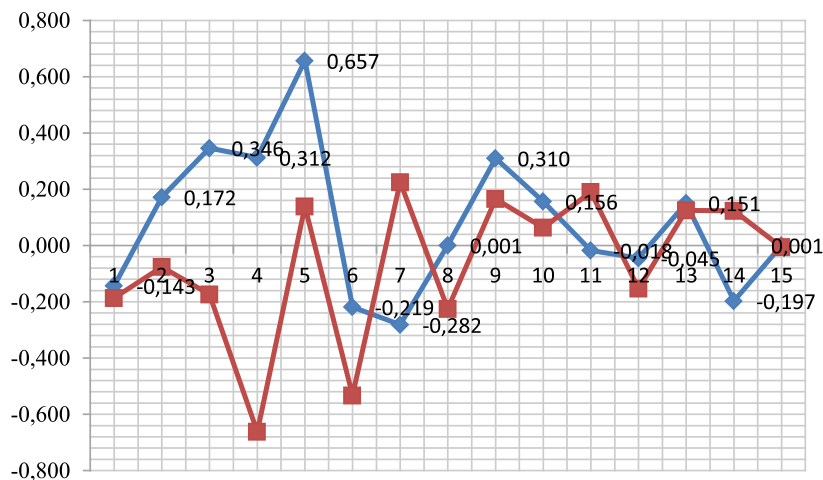


График показателей качества эксплуатации конструкции

Максимальные значения в области качества приняли значения «Показатели надежности» (5). Под показателями надежности понимаем безотказность, ремонтпригодность, долговечность. Кроме этого, максимальные значения векторов наблюдаем у показателей безопасности (9) и экономических показателей (7).

Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что наибольшее влияние на качество элементов кранового оборудования металлургического предприятия оказывают показатели надежности, безопасности и экономические показатели.

Минимальные значения в области качества имеют показатели, связанные с количеством конструкций (1). Но это говорит лишь о том, что оценка качества каждой конструкции стандартизирована.

После анализа была проверена точность результатов анализа, с помощью формулы (15).

$$\text{Удельный вклад } i\text{-й главной компоненты} = \frac{\lambda_i}{\text{Размер выборки}} * 100. \quad (15)$$

Удельный вклад первой главной компоненты равен 29,1 %, удельный вклад второй главной компоненты равен 36,4%. Суммарные вклады по двум главным компонентам равны 65,5%.

Таким образом, доля дисперсии первых двух компонент составляет 65,5% (из 15 компонент). Следовательно, данные из первых двух компонент могут быть использованы как определяющие, потому что вклад других принимается несущественным, так как составляет менее 40%. В этом случае анализ методом главных компонент можно считать удовлетворительным.

К наиболее значимым показателям надежности отнесем вероятность безотказной работы конструкции, уровень ее ремонтпригодности и долговечности, а показателям безопасности – режимы работы металлургических мостовых кранов, а также риски, связанные с их эксплуатацией.

Выводы

Оценка качества сложных технических систем представляет собой трудную задачу, потому что это понятие включает большое количество характеристик и показателей. Возникает необходимость выделения основных показателей качества рассматриваемых конструкций.

На сегодняшний день представляется эффективным многомерный метод снижения размерности данных – метод главных компонент.

Применение метода главных компонент структурирует показатели посредством сведения множества переменных к меньшему числу переменных, которые объясняют большую часть вариации в значениях исследуемых данных.

В данном исследовании из 15 показателей (7 показателей надежности и 8 показателей безопасности) были выявлены наиболее значимые 9 показателей, которые оказывают существенное влияние на качество эксплуатации элементов кранового оборудования:

- показатели надежности (5 показателей):
- число наработанных циклов (2);
- наработка без вынужденных перерывов (3);
- уровень ремонтпригодности (4);
- показатели надежности (5);
- экономические показатели;
- и показатели безопасности (4 показателя):
- тяжело нагруженные режимы работы (9);
- нарушения стандартов качества эксплуатации (10);
- нарушения требований руководств эксплуатации (11);
- социальные и индустриальные риски (13).

Список литературы

1. Извеков Ю.А. Совершенствование методологии повышения качества кранового оборудования металлургических предприятий на основе теории риск-анализа // Живучесть и конструкционное материаловедение (ЖивКом 2018): научные труды 4-й Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию ИМАШ РАН. 2018. С. 124–125.
2. Извеков Ю.А. Моделирование прогнозирования риска несущих конструкций кранов металлургического производства // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2012. Т. 1. № 70. С. 6–8.
3. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь (с Поправкой). М.: Стандартинформ, 2015. 53 с.
4. Орлов А.И. Прикладная статистика. 2-е испр. изд. М.: НОУ «Интуит», 2016. 947 с.
5. Горяинова Е.Р., Панков А.Р., Платонов Е.Н. Прикладные методы анализа статистических данных: учеб. пособие. М.: ИД ГУ ВШЭ, 2012. 310 с.
6. Мхитарян В.С. Анализ данных. Учебник. М.: Юрайт, 2016. 492 с.
7. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. В 4-х ч. // Ч. 1. Основы анализа и регулирования безопасности: научн. руковод. К.В. Фролов. М.: МГФ «Знание», 2006. 640 с.
8. Хроника аварий // Вестник промышленной безопасности [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vestipb.ru/chronicle.html> (дата обращения: 16.03.2019).