

В. П. Сиваков, Е. Н. Степанова, А. В. Вураско,
О. В. Стоянов

КЛАСТЕРНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ключевые слова: анализ, диагностирование, кластер, насос, оценка, работоспособность.

Рассмотрено формирование оценочных критериев насоса по технологическим, техническим и энергетическим характеристикам работоспособного состояния. Исследованы и статически рассчитаны критерии функций содержания сухих веществ в циркуляционном растворе, виброскорость насоса и сила тока электродвигателя. Для этих критериев выделены диапазоны оценок: «допустимо», «неудовлетворительно» и «предотказно» на основе которых предложен кластер для контроля состояний работоспособности. Произведена проверка соответствием текущего измерения контролируемых функций одному из кластеров. Показано, что кластерный анализ применим для идентификации измеренных значений переменных величин по принадлежности к одному из кластеров работоспособного состояния.

Keywords: analysis, diagnosis, cluster, pump, evaluation, performance.

The formation of the assessment criteria for pump technology, technical and energy characteristics of a healthy state. Researched and calculated statically criteria functions of dry matter content in the circulating solution, velocity and current pump motor. For these criteria, select the range of ratings: "permissible," or "unsatisfactory" and "before failure" on the basis of which the proposed cluster to control health states. Produced by checking the relevant current measurement functions controlled by one of the clusters. It is shown that the cluster analysis is applicable to the identification of the measured values for the variables belonging to the same operational state of the cluster.

Введение

Контроль работоспособного состояния технологического оборудования на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности активно внедряется технологическими, механическими и энергетическими службами. Для диагностирования работоспособного состояния оборудования применяется следующие методы: контроль плотности технологических растворов; контроль содержания сухих веществ в щелоче; вибрационный и температурный контроль; контроль силы тока приводных электродвигателей и другие методы. Каждая служба предприятия принимает для диагностирования одной и той же единицы оборудования свои методы автономно, вне связи с методами диагноза других служб. Другими словами определение оценочных критериев работоспособного состояния контролируемой единицы оборудования по измерению диагностических переменных $y_i \in y_1, y_2, \dots, y_n$ (где n - число методов контроля), не имеет цели совместного использования этих критериев. Комплексная оценка работоспособного состояния контролируемой единицы оборудования не рассматривается. Каждая из служб формирует свой оценочный критерий работоспособного состояния одной и той же единицы оборудования.

Экспериментальная часть и расчеты

Рассмотрим формирование оценочных критериев насоса системы циркуляции варочного раствора сульфитварочного котла целлюлозного производства. При исследовании применялись следующие контролируемые переменные: технологическая – содержание сухих веществ в варочном растворе $y_1, \%$; технического состояния – среднеарифметическое значение виброскорости подшипниковой опоры насоса на лопастной частоте y_2 , мм/с; энергетическая – сила тока электродвигателя насоса y_3 , А.

Статистическими расчетами и графическими построениями экспериментальных данных установлено, что переменные y_i , $y = \overline{1, \dots, 3}$ подчиняются нормальному распределению [1]. Средние арифметические значения m_i^h и среднее квадратические отклонения σ_i^h переменных y_i для h -ых кластеров (рис. 1) приведены в таблице. Кластеры соответствуют следующим состояниям работоспособности: h_1 - допустимое; h_2 - неудовлетворительное; h_3 - предотказное.

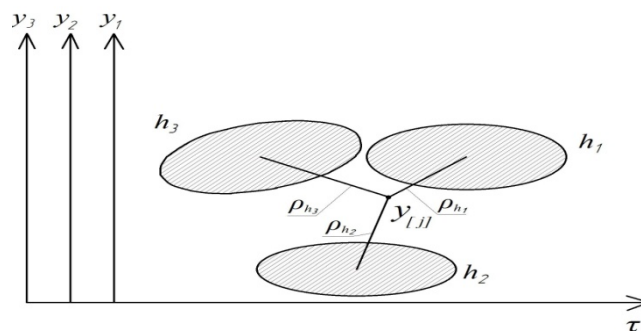


Рис. 1 - Кластер в пространстве двух переменных для трех состояний работоспособности, где $y_{[i,j]} = (y_1[i], y_2[i], y_3[i])$ - координата контрольного измерения вектора. ρ_h , $h = \overline{1, \dots, 3}$ - обобщенное расстояние от $y_{[i,j]}$ до центра h -го кластера, h_1, h_2, h_3 - кластеры работоспособного состояния диагностируемого насоса «допустимое», «неудовлетворительное» и «предотказное», соответственно, y_1, y_2, y_3 - контролируемые переменные

По экспериментальным данным оцениваются параметры распределения m_i , σ_i , $i = \overline{1, 2}$. Границу кластера при производственном эксперименте определяют как границу области с доверительной вероятностью 0,8; 0,9. Для независимых переменных y_i удовлетворяющих нормальному закону распределе-

ния, главные оси кластера расположены параллельно осям координат.

Таблица 1 - Расчетные значения параметров распределения переменных y_i для h -ых состояний работоспособности циркуляционного насоса

Наименования и размерность переменных	Значение параметров переменных m_i^h, σ_i^h при оценке					
	допустимое		неудовлетворительное		предотказное	
	m_i^1	σ_i^1	m_i^2	σ_i^2	m_i^3	σ_i^3
Содержание сухих веществ в варочном растворе $y_1, \%$	10,2	2,2	11,8	2,6	14,4	3,1
Среднее квадратическое значение виброскорости, $y_2, \text{мм/с}$	0,5	0,11	0,6	0,13	0,75	0,16
Сила тока электродвигателя насоса, $y_3, \text{А}$	108	15,3	120	17	139	19,7

Работоспособное состояние циркуляционного насоса диагностируют по методу кластерного анализа следующим образом [2]. В момент времени t_j производят очередное j -ое измерение вектора $y[j] = (y_1[j], \dots, y_e[j])$. На основе взаимного расположения точки $y[j]$ кластеров в двухмерном пространстве определяют состояние работоспособности $h[j]$ в момент времени t_j . Вычисляют обобщенное расстояние от проверяемой точки $y[j]$ до центров кластеров. Для независимых переменных удовлетворяющих нормальному закону распределения обобщенное расстояние ρ_h до h -го кластера определяют по формуле [2]:

$$\rho_h = \left[\sum_{i=1}^l \left(\frac{y_i[j] - m_i^h}{\sigma_i^h} \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где $y_i[j]$ - значение компоненты y_i вектора $y[j]$; m_i^h, σ_i^h - параметры распределения $\rho_h(y_1, y_2, \dots, y_e)$ кластера соответствующего работоспособному состоянию h циркуляционного насоса. Точка $y[j]$ от-

носится к тому кластеру, для которого расстояние ρ_h минимально. В рассматриваемом примере контролируется три переменных диагностируемого насоса: y_1 - содержание сухих веществ в варочном растворе, y_2 - виброскорость подшипниковой опоры, y_3 - сила тока электродвигателя. Выделены три кластера соответствующие уровням работоспособного состояния: h_1 - допустимое, h_2 - неудовлетворительное, h_3 - предотказное. При j -ом измерении вектора y получено $y[j] = (y_1[j] = 10,7, y_2[j] = 1,3, y_3[j] = 102)$. Определяем обобщенные расстояния ρ_h по формулам (2,3,4):

$$\rho_{h1} = \sqrt{\left(\frac{y_1[j] - m_1^1}{\sigma_1^1} \right)^2 + \left(\frac{y_2[j] - m_2^1}{\sigma_2^1} \right)^2 + \left(\frac{y_3[j] - m_3^1}{\sigma_3^1} \right)^2}, \quad (2)$$

$$\rho_{h1} = \sqrt{\left(\frac{10,7 - 10,2}{2,2} \right)^2 + \left(\frac{1,3 - 0,5}{0,11} \right)^2 + \left(\frac{102 - 108}{15,3} \right)^2} = 7,28,$$

$$\rho_{h2} = \sqrt{\left(\frac{y_1[j] - m_1^2}{\sigma_1^2} \right)^2 + \left(\frac{y_2[j] - m_2^2}{\sigma_2^2} \right)^2 + \left(\frac{y_3[j] - m_3^2}{\sigma_3^2} \right)^2}, \quad (3)$$

$$\rho_{h2} = \sqrt{\left(\frac{10,7 - 11,8}{2,6} \right)^2 + \left(\frac{1,3 - 0,6}{0,13} \right)^2 + \left(\frac{102 - 120}{17} \right)^2} = 5,5,$$

$$\rho_{h3} = \sqrt{\left(\frac{y_1[j] - m_1^3}{\sigma_1^3} \right)^2 + \left(\frac{y_2[j] - m_2^3}{\sigma_2^3} \right)^2 + \left(\frac{y_3[j] - m_3^3}{\sigma_3^3} \right)^2}, \quad (4)$$

$$\rho_{h3} = \sqrt{\left(\frac{10,7 - 14,4}{3,1} \right)^2 + \left(\frac{1,3 - 0,75}{0,16} \right)^2 + \left(\frac{102 - 139}{19,7} \right)^2} = 4,1.$$

Обобщенное расстояние ρ_{h3} минимально. Вектор $y[j]$ соответствует кластеру работоспособного состояния h_3 - предотказное. Из анализа ρ_h следует, что причиной предотказного состояния является высокий уровень виброскорости. Значение компоненты $y_2[j] = 1,3$ мм/с, что выше предотказного $m_2^3 = 0,75$ мм/с в 1,7 раза (см. таблицу).

Кластерный анализ обеспечивает формирование комплексной оценки и идентификации контролируемых значений переменных величин по принадлежности к одному из кластеров работоспособного состояния.

Литература

1. Вураско А. В., Вихарев С. Н., Сиваков В. П., Мешков А. Д. Исследование технологических характеристик полотна бумаги и вибрации оборудования для обеспечения качества продукции. Вестник КНИТУ, 2013. – №23. Т.16. – С. 248-251.
2. Муромцев Ю. Л. Безаварийность и диагностика нарушений в химических производствах. М.: Химия, 1990. 144с.

© **В. П. Сиваков** - профессор, д. т. н., проф. каф. теоретической механики и оборудования целлюлозно-бумажных производств, Уральский государственный лесотехнический университет, sivakov@usfeu.ru; **Е. Н. Степанова** - аспирант той же кафедры, evgeniast1@mail.ru; **А. В. Вураско** - профессор, д. т. н., директор института химической переработки растительного сырья и промышленной экологии, Уральский государственный лесотехнический университет, vurasko2010@yandex; **О. В. Стоянов** - д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологии пластических масс КНИТУ, ov_stoyanov@mail.ru.

© **V. P. Sivakov**, doctor of technical sciences, professor of Theoretical Mechanics and equipment pulp and paper production, Ural State Forestry University, Institute of forest industry and road construction, Ekaterinburg, sivakov@usfeu.ru; **E. N. Stepanova**, a graduate student, department of theoretical mechanics and equipment pulp and paper production, Ural State Forestry University, Institute of forest industry and road construction, Ekaterinburg, evgeniast1@mail.ru; **A. V. Vurasko**, doctor of technical sciences, professor, director of the institute of chemical processing of vegetable raw materials and industrial ecology, Ural State Forestry University, vurasko2010@yandex.ru; **O. V. Stoyanov** - professor, Kazan National Research Technological University, Department of Plastics Technology, ov_stoyanov@mail.ru.

