

УДК 681.527.7

К. Л. Столбов, магистрант

Ю. Р. Никитин, кандидат технических наук, доцент

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ МОТОР-РЕДУКТОРОВ ПРОКАТНОЙ ЛИНИИ СТАНА 250

*Рассматривается диагностирование мотор-редукторов прокатной линии стана 250 на основе логико-лингвистической модели. Предложенная модель включает описание исходных лингвистических переменных и технических состояний, баз правил системы нечеткого вывода для определения технического состояния мотор-редукторов. Предложен новый интегральный диагностический параметр мотор-редукторов – сумма амплитуд виброускорений для частотного диапазона от 6,3 до 1250 Гц 1/3-октавного фильтра.*

**Ключевые слова:** мотор-редукторы, вибрации, диагностирование, логико-лингвистическая модель

В настоящее время для обеспечения надежности и безотказности технологического оборудования прокатных станов необходимо использовать системы диагностики. Вопросам диагностики прокатных станов посвящены работы [1–5]. Разработки систем диагностики, в том числе и на базе новых методов искусственного интеллекта, рассмотрены в работах [6–12, 13–36].

Циклическое воздействие напряжений на технологическое оборудование прокатной линии стана приводит к появлению дефектов в сопрягаемых элементах. К таким элементам относятся мотор-редукторы, подшипники качения. Аварии технологического оборудования прокатной линии стана приносят существенный ущерб.

Прокатный стан 250 на ОАО «Ижсталь» предназначен катать металлические заготовки массой 1200 кг, размерами  $0,125 \times 0,125 \times 10 \text{ м}^3$ . Данный стан имеет 5 основных участков: печь, черновая группа, промежуточная группа, чистовая группа и холодильник. Между печью и черновой группой стоят две клетки, называемые «нулевыми», которые первыми начинают обжимать нагретый металл. От печи до «нулевых» клеток заготовка перемещается по рольгангу VR1, состоящему из 17 роликов. Каждый ролик рольганга VR1 вращается посредством мотор-редуктора Z68-K4-LA/90L4, Siemens (MOTOX), жестко закрепленного к фундаменту.

В реальных производственных условиях ресурс мотор-редуктора зачастую вырабатывается раньше нормативного срока. На ресурс влияет множество факторов, например:

- неточность в заливке фундамента, к которому закреплен мотор-редуктор;
- неточность установки мотор-редуктора относительно производственной линии;
- дефекты изготовления деталей мотор-редуктора;
- неточность в сборке деталей мотор-редуктора;
- дисбаланс валов мотор-редуктора;
- перекося подшипников мотор-редуктора.

Для определения технического состояния мотор-редуктора была разработана логико-лингвистическая модель диагностирования на базе нечеткой логики. Данная модель представлена системой уравнений:

$$\begin{cases} x(t_i) = F(x_1(t_i), \dots, x_n(t_i)), \\ D(t_i) = G(x(t_i), t), \\ Z(t_i) = H(x(t_i), D(t_i), t), \end{cases} \quad (1)$$

где  $x(t) = F(x_1(t), \dots, x_n(t))$  – уравнение диагностических параметров мотор-редукторов;  $x(t_i)$  – вектор диагностических параметров мотор-редукторов;  $t_i$  – совокупность моментов измерений диагностических параметров мотор-редукторов;  $D(t_i) = G(x(t_i), t)$  – уравнение расчета вектора тренда диагностических параметров мотор-редукторов;  $t$  – выработанный ресурс двигателей мотор-редукторов;  $Z(t_i) = H(x(t_i), D(t_i), t)$  – уравнение оценки технического состояния двигателей мотор-редукторов.

Модель диагностирования двигателей мотор-редукторов реализована в программном продукте MatLab в пакете Fuzzy Logic Toolbox. Система нечеткого вывода оценки технического состояния реализована на нечеткой базе знаний типа Мамдани с тремя входными переменными  $x, D, t$ .

В качестве функций принадлежности терма  $M$  лингвистической переменной выбрана функция Гаусса, т. к. она достаточно простая, дифференцируемая, задается всего 2 параметрами, что позволяет уменьшить вычислительную сложность алгоритма. В качестве функций принадлежности термов  $L, H$  лингвистической переменной выбраны  $z, s$  функции.

Выбран нечеткий логический вывод Мамдани, в качестве  $t$ -нормы выбран максимум, дефазификация проводится по методу центра тяжести, т. к. он обеспечивает хорошие показатели точности и скорости настройки нечеткой базы знаний. В качестве настраиваемых параметров использованы весовые коэффициенты правил, координаты особых точек функций принадлежностей лингвистических переменных.

Схема системы нечеткого вывода показана на рис. 1.

При использовании 3 лингвистических переменных с 3 термами при комбинировании логических операций И, ИЛИ получены 7 правил, отражающих

зависимость технического состояния мотор-редукторов от значений вектора диагностических параметров, тренда диагностических параметров и выработанного ресурса, которые показаны ниже:

- If (x is L) and (D is L) and (t is L) then (Z is L);
- If (x is M) and (D is L) and (t is L) then (Z is M);
- If (x is L) and (D is M) and (t is L) then (Z is M);
- If (x is L) and (D is L) and (t is M) then (Z is M);
- If (x is H) then (Z is H);
- If (D is H) then (D is H);
- If (t is H) then (Z is H).

Поверхность отклика системы нечеткого вывода оценки технического состояния мотор-редукторов предствалена на рис. 2. На данном рисунке показано, как изменяется техническое состояние мотор-редукторов (выходная переменная Z) в зависимости от входных переменных x, D.

На рис. 2 видно, что при малых значениях интегрального диагностического параметра x и малом значении тренда диагностического параметра техническое состояние мотор-редукторов является исправным.

Примеры визуализации базы правил системы нечеткого вывода оценки технического состояния мотор-редукторов показаны на рис. 3, 4.

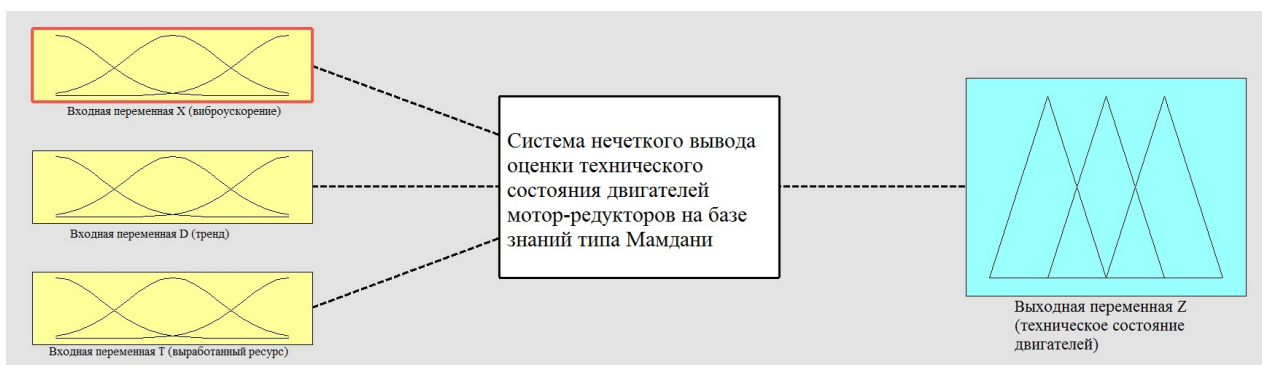


Рис. 1. Схема системы нечеткого вывода оценки технического состояния мотор-редукторов с тремя входными переменными x, D, t

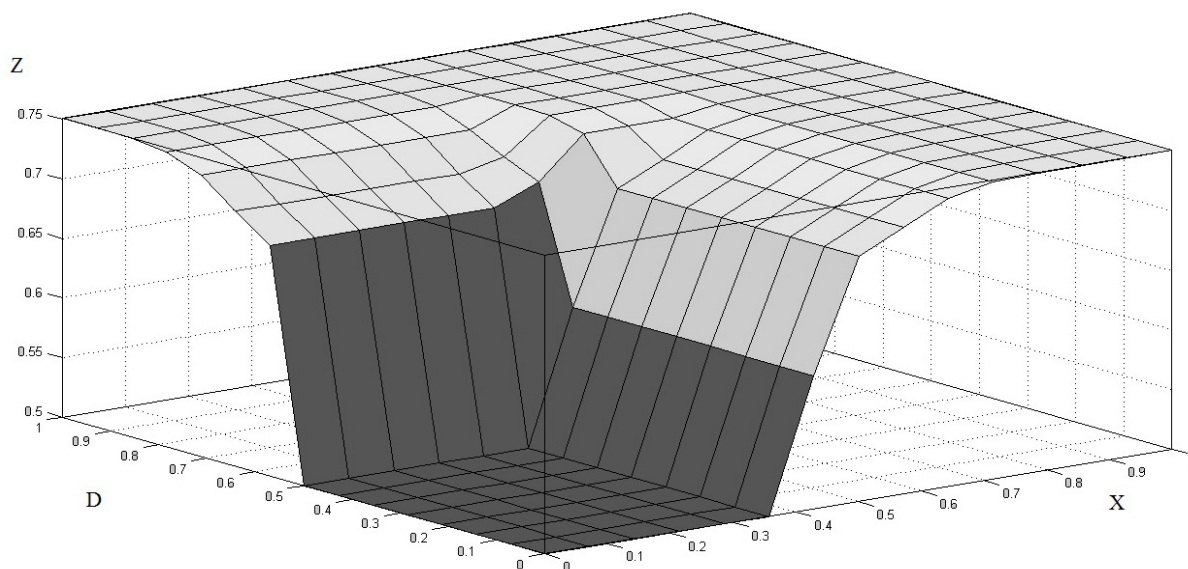


Рис. 2. Поверхность отклика системы нечеткого вывода оценки технического состояния мотор-редукторов

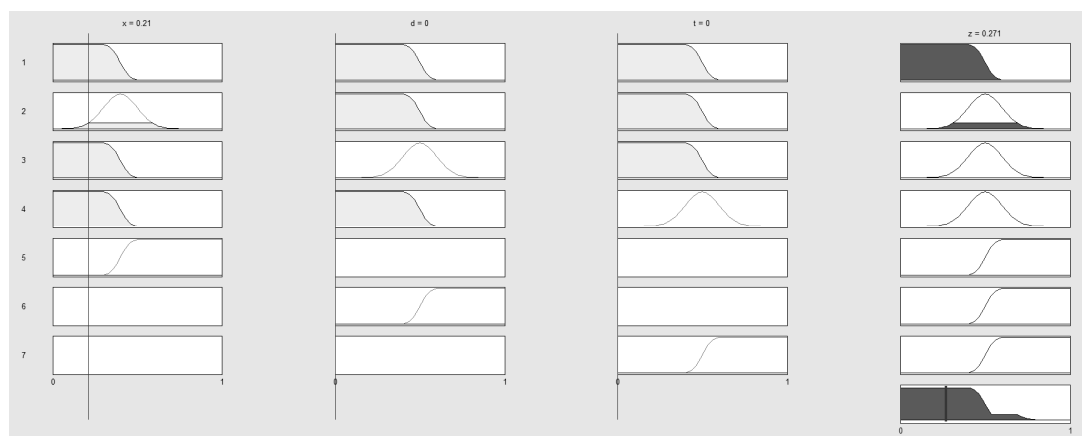


Рис. 3. Пример визуализации базы правил системы нечеткого вывода оценки технического состояния мотор-редукторов ( $x = 0,21$ ,  $D = 0$ ,  $t = 0$ ,  $Z = 0,271$  – хорошее техническое состояние)

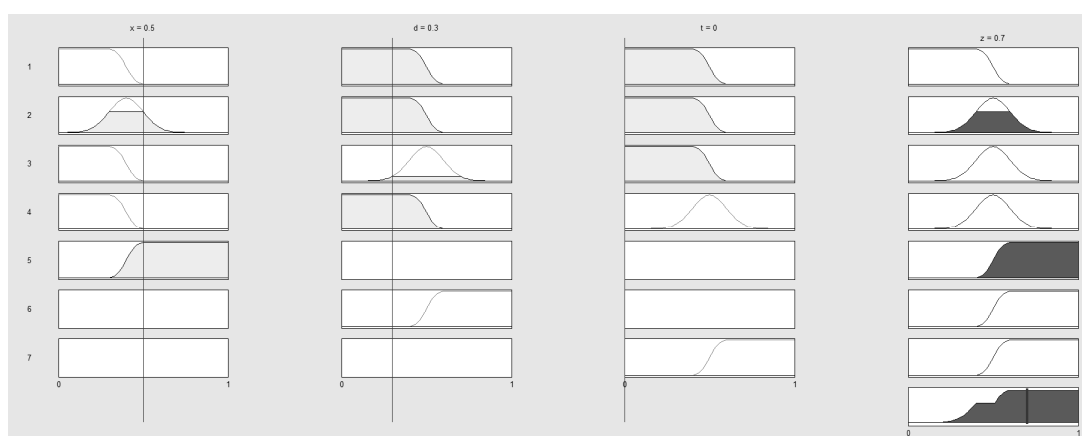


Рис. 4. Пример визуализации базы правил системы нечеткого вывода оценки технического состояния мотор-редукторов ( $x = 0,5$ ,  $D = 0,3$ ,  $t = 0$ ,  $Z = 0,7$  – техническое состояние с дефектами)

С учетом особенностей функционирования мотор-редукторов и результатов экспериментальных исследований произведен выбор диагностических параметров для вычисления интегрального параметра – вектора диагностических параметров мотор-редукторов.

В качестве вектора диагностических параметров мотор-редукторов был выбран вектор виброускорений, полученных с помощью 1/3-октавного фильтра.

Для измерения виброускорений мотор-редукторов Z68-K4-LA/90L4 был использован шумомер-виброметр Октава 110А-Эко с частотным диапазоном в 1/3-октавных полосах частот: 6,3–1250 Гц.

Для измерения виброускорений был выбран способ крепления датчика на магнит. Этот способ подходит для периодических измерений вибрации.

Согласно ГОСТ [37] на невращающихся частях мотор-редуктора Z68-K4-LA/90L4 были выбраны места для установки датчика виброускорений. Места измерения виброускорений показаны на рис. 5.

Измерения виброускорений мотор-редуктора Z68-K4-LA/90L4 проводились в 3 направлениях: вертикальном, горизонтальном и осевом.

Измерения виброускорений мотор-редуктора проводились в течение 17 смен. После обработки и анализа данных были сделаны следующие выводы.

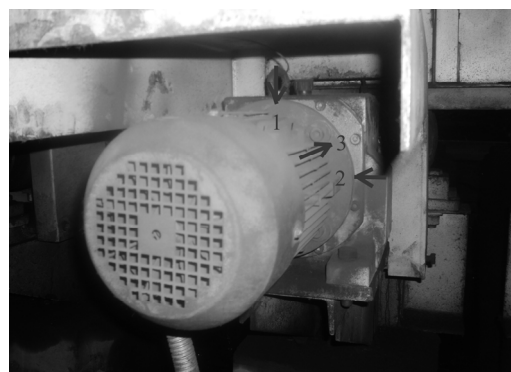


Рис. 5. Места установки датчика виброускорений на мотор-редуктор Z68-K4-LA/90L4

При переключении скорости вращения вала мотор-редуктора значения виброускорений практически не изменяются.

При появлении нагрузки возрастание значений виброускорений мотор-редуктора возникает сразу, убывание значений виброускорений происходит спустя 10 секунд после снятия нагрузки.

При небольшой разнице скоростей вращения ( $\pm 15$  об/мин) одного и того же мотор-редуктора на холостом ходу в разные смены разность виброускорений на высоких частотах тоже небольшая ( $\pm 5$  дБ);

при разнице скоростей вращения ( $\pm 125$  об/мин) одного и того же мотор-редуктора на холостом ходу разность виброускорений на частоте 630 Гц составляет  $\pm 10$  дБ, на остальных высоких частотах – также ( $\pm 5$  дБ).

На протяжении 17 дней измерялись виброускорения для 10 мотор-редукторов. Виброускорения каждого мотор-редуктора измерялись в 3 взаимно перпендикулярных направлениях: вертикальном, горизонтальном, осевом.

На протяжении 17 смен для каждого из 10 исследуемых мотор-редукторов на каждой отдельно взятой частоте 1/3-октавного фильтра были определены средние арифметические значения радиальных (вертикальных) вибраций. Данные средних значений виброускорений 10 исследуемых мотор-редукторов

представлены в таблице. Для каждого мотор-редуктора были просуммированы значения амплитуд виброускорений для всех частот 1/3-октавного фильтра и отображены в таблице (графа СУММА).

Для каждого двигателя была построена кривая зависимости значений амплитуды виброускорений мотор-редуктора от частоты фильтра, показанная на рис. 6.

Для графы СУММА была построена гистограмма значений сумм амплитуд виброускорений мотор-редуктора для всех частот 1/3-октавного фильтра, которая представляет интегральный диагностический параметр, показывающий техническое состояние каждого из 10 мотор-редукторов. Данная гистограмма показана на рис. 7.

**Значения виброускорений 10 мотор-редукторов**

|         | 1-Н      | 2-Н      | 3-Н      | 4-Н      | 5-Н      | 6-Н      | 7-Н      | 8-Н      | 9-Н      | 10-Н     |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6,3Гц   | 73,8706  | 71,43409 | 71,22825 | 69,25313 | 70,85896 | 69,59989 | 70,49849 | 69,50294 | 70,02858 | 70,65261 |
| 8Гц     | 74,0853  | 69,98357 | 70,46917 | 68,67917 | 69,10166 | 68,31078 | 69,41857 | 69,81894 | 69,10179 | 69,91639 |
| 10Гц    | 73,61106 | 70,11478 | 70,9605  | 70,11063 | 67,96698 | 68,58844 | 70,01487 | 71,53435 | 69,63415 | 71,07328 |
| 12,5Гц  | 71,97277 | 70,34433 | 72,86333 | 75,03479 | 68,59886 | 68,10278 | 72,24672 | 74,412   | 71,97497 | 73,32664 |
| 16Гц    | 73,4118  | 73,47243 | 78,16675 | 78,74438 | 69,95649 | 69,48556 | 76,78782 | 78,88059 | 76,19018 | 77,95017 |
| 20Гц    | 77,60532 | 78,76713 | 84,484   | 83,96875 | 75,45485 | 75,79244 | 83,24496 | 83,89565 | 82,92105 | 83,17303 |
| 25Гц    | 80,68093 | 82,35774 | 89,43633 | 87,75781 | 78,71356 | 80,27444 | 87,66739 | 89,09494 | 87,74187 | 89,45613 |
| 31,5Гц  | 85,29641 | 86,87965 | 95,35783 | 93,12885 | 82,25047 | 87,24611 | 94,17538 | 96,16024 | 94,42305 | 97,38    |
| 40Гц    | 87,11297 | 93,93243 | 97,57508 | 95,86344 | 84,58833 | 90,525   | 95,66597 | 102,6069 | 95,94186 | 98,62261 |
| 50Гц    | 90,01578 | 92,85826 | 103,8527 | 105,4721 | 89,77533 | 96,47989 | 101,4265 | 109,3415 | 101,5025 | 103,2419 |
| 63Гц    | 97,26095 | 103,4029 | 110,2747 | 112,0591 | 100,3746 | 102,3217 | 112,9734 | 114,8604 | 112,8709 | 111,7553 |
| 80Гц    | 105,0981 | 111,0413 | 113,4381 | 111,3263 | 107,3418 | 109,2461 | 115,6641 | 116,6581 | 115,679  | 112,5313 |
| 100Гц   | 99,08525 | 104,7957 | 106,526  | 104,9411 | 103,2368 | 107,459  | 111,3331 | 112,7865 | 111,2327 | 107,5741 |
| 125Гц   | 96,67333 | 101,4929 | 103,6061 | 104,6458 | 97,30269 | 101,3183 | 109,8124 | 102,5047 | 109,6793 | 109,6357 |
| 160Гц   | 91,82984 | 94,99748 | 94,30642 | 99,48313 | 96,14869 | 95,38667 | 101,8421 | 99,76659 | 101,7656 | 99,46261 |
| 200Гц   | 95,0365  | 98,0033  | 97,69942 | 103,2651 | 97,60576 | 102,5558 | 105,2053 | 101,5915 | 105,126  | 105,4561 |
| 250Гц   | 95,52918 | 95,23635 | 98,58758 | 103,45   | 99,73806 | 101,3868 | 102,2526 | 103,4576 | 102,3486 | 107,3676 |
| 315Гц   | 94,51432 | 96,02826 | 96,74592 | 97,47948 | 97,77605 | 97,882   | 100,797  | 103,2009 | 100,8945 | 102,2798 |
| 400Гц   | 86,79265 | 88,4527  | 93,747   | 92,33208 | 91,24279 | 92,24889 | 96,65487 | 100,7028 | 96,66375 | 96,52059 |
| 500Гц   | 85,48126 | 91,06896 | 91,03725 | 93,29729 | 93,09134 | 90,32867 | 94,66765 | 95,24118 | 94,66348 | 97,25655 |
| 630Гц   | 93,03265 | 104,6049 | 97,10167 | 95,8775  | 97,56993 | 94,48267 | 96,62689 | 98,58106 | 96,80767 | 98,63563 |
| 800Гц   | 97,90604 | 104,2101 | 99,3675  | 104,9055 | 97,23104 | 97,34978 | 102,9676 | 101,2535 | 103,2632 | 101,3351 |
| 1,0кГц  | 92,09459 | 96,58583 | 99,65308 | 98,30813 | 96,00776 | 97,41233 | 97,94361 | 100,7108 | 98,21054 | 100,649  |
| 1,25кГц | 91,67248 | 95,072   | 103,7168 | 101,3541 | 94,48065 | 97,72833 | 99,8037  | 96,40024 | 99,88564 | 98,57143 |
| СУММА   | 2109,67  | 2175,137 | 2240,201 | 2250,738 | 2126,414 | 2161,512 | 2269,691 | 2292,964 | 2268,551 | 2283,824 |

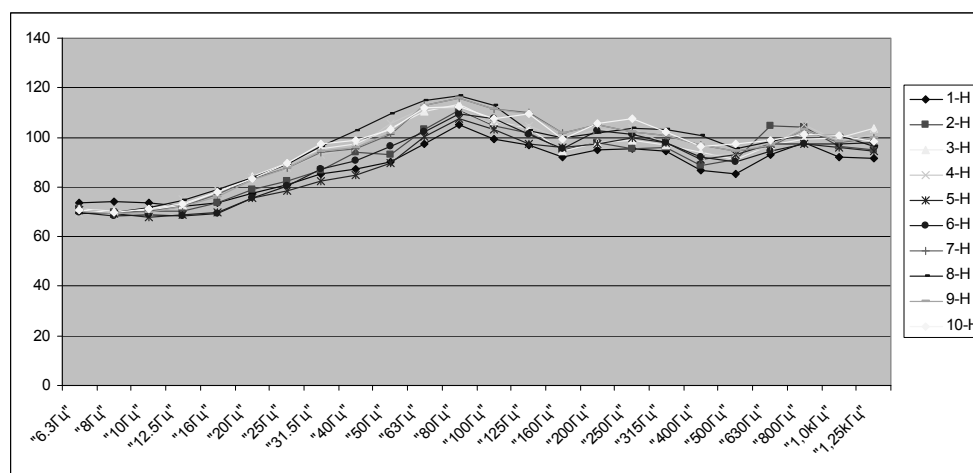


Рис. 6. Зависимость значений амплитуды виброускорений двигателей мотор-редукторов от частоты 1/3-октавного фильтра

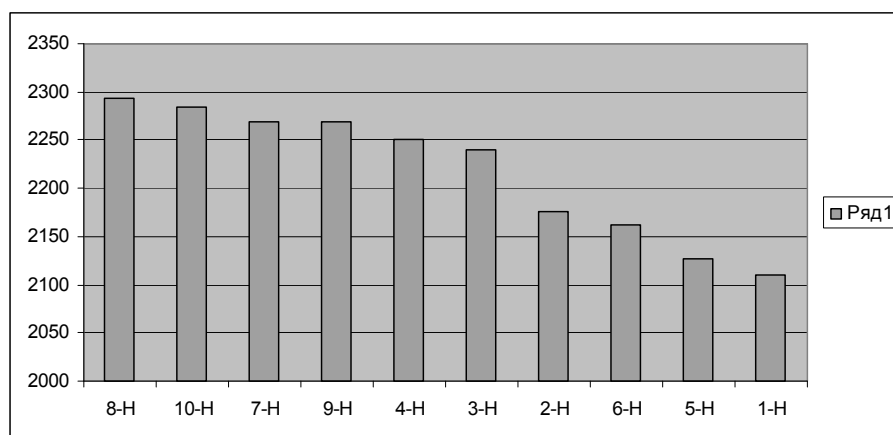


Рис. 7. Гистограмма, показывающая техническое состояние мотор-редукторов

Из этой гистограммы видно, что у мотор-редукторов 8, 10, 7, 9 значение интегрального параметра диагностических параметров значительно выше, чем у мотор-редукторов 2, 6, 5, 1. Отсюда можно предположить, что у мотор-редукторов 8, 10, 7, 9, возможно, имеются развивающиеся дефекты при одинаковых значениях тренда диагностических параметров и выработанного ресурса.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по теме «Разработка интеллектуальных систем управления и диагностики мехатронными приводами» в рамках государственного задания.

#### Библиографические ссылки

1. Антонычев С. В., Яблоков А. Е. Современное состояние проблемы технической диагностики прокатных станов холодного пильгерования MEER KPW // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2005. – № 4. – С. 8–12.
2. Веренёв В. В. [и др.]. Диагностика и динамика прокатных станов: Монография. – Днепропетровск: ИМА-пресс, 2007. – 144 с.
3. Макворд М. Диагностика вибраций прокатного стана // Производство проката. Черные металлы. – 2008. – № 8. – С. 39–44.
4. Системы диагностики и мониторинга в черной металлургии / Х. Айгнер, Г. Хелекаль, В. Хохрайтер и др. // Черные металлы. – 2001. – № 6. – С. 41–45.
5. Шефер Х. Ю. Состояние диагностики машин в черной металлургии // Черные металлы. – № 6. – 2001. – С. 28–31.
6. Cowan R. S., Winer W. O. Handbook of Technical Diagnostics: Fundamentals and Application to Structures and Systems: Machinery Diagnostics. Springer Berlin Heidelberg, 2013. – P. 387–410.
7. Dovban' S. N., Veselov O. V. Technical diagnostics of electromechanical systems based on the analysis of distorted output signal. // Automation and Remote Control. November 2012, Volume 73, Issue 11. – P. 1902–1909.
8. Hammer M., Šimková M., Ministr M. Artificial Intelligence in Diagnostics of Electric Machines // Recent Advances in Mechatronics. 2010. – P. 139–144.
9. Nandi S., Toliyat G. A. Condition monitoring and fault diagnosis of electrical machines – a review. // 35th IEEE-IAS annual meeting, vol. 1, 1999. – P. 197–204.
10. Nikitin Y., Abramov I. Mechatronic modules diagnosis by use of fuzzy sets // Proceedings of 14-th International Conference on Mechatronics. – 1–3 June, 2011. – Trencinske Teplice, Slovakia. – P. 109–111.
11. Nikitin Y. R., Abramov I. V. CNC machines diagnostics // Proceedings 13-th International Symposium on Mechatronics. 2–4 June, 2010. – Trencinske Teplice, Slovakia. – P. 89–91.
12. Reilly T. A Review of Signal Processing and Analysis Tools for Comprehensive Rotating Machinery Diagnostics. // Rotating Machinery, Structural Health Monitoring, Shock and Vibration. Vol. 5 Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series, 2011. – P. 463–479.
13. Алексеев А. А. Идентификация и диагностика систем: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / А. А. Алексеев, Ю. А. Кораблев, М. Ю. Шестопалов. – М. : Академия, 2009. – 352 с.
14. Барков А. В., Баркова Н. А., Азовцев А. Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: учеб. пособие. – СПб., 2000. – 158 с.
15. Биргер И. А. Техническая диагностика. – М. : Машиностроение, 1978. – 240 с.
16. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф. Я. Балицкий, М. А. Иванова, А. Г. Соколова, Е. И. Хомяков ; отв. ред. М. Д. Генкин. – М. : Наука, 1984. – 119 с.
17. Вибродиагностика подшипниковых узлов электрических машин / Б. Г. Марченко, М. В. Мыслович. – Киев : Наук. думка, 1992. – 195 с.
18. Вибродиагностика, триботехника, вибрации и шум : монограф. Сб. матер. семинара VII Междунар. науч.-техн. конф. «Социально-экономические и экологические проблемы лесного хозяйства» / под ред. А. А. Санникова и Н. В. Куцубиной. – Екатеринбург : Уральск. гос. лесотехн. университет, 2009. – 416 с.
19. Вицентий А. В. Разработка подхода к проектированию систем технической диагностики технологических процессов с учетом неопределенных условий их функционирования // Прикладные проблемы управления макросистемами. – 2006. – Т. 28. – С. 264–273.
20. Генкин М. Д., Соколова А. Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М. : Машиностроение, 1987. – 282 с.
21. Диагностика и надежность автоматизированных систем : учеб. пособие / Б. М. Бржозовский, А. А. Игнатьев, В. В. Мартынов, А. Г. Схиртладзе. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2007. – 352 с.
22. Кравченко В. М., Сидоров В. А., Седуш В. Я. Техническое диагностирование механического оборудования. – Донецк : Юго-Восток, 2007. – 447 с.

23. Марченко Б. Г., Мыслович М. В. Вибродиагностика подшипниковых узлов электрических машин. – Киев : Наук. думка, 1992. – 195 с.
24. Неразрушающий контроль: справочник. – Т. 7. Кн. 2. Вибродиагностика / Ф. Я. Балицкий, А. В. Барков, Н. А. Баркова и др. – М. : Машиностроение, 2005. – 829 с.
25. Никитин Ю. Р., Абрамов И. В. Диагностирование мехатронных систем : учеб. пособие. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2011. – 116 с.
26. Никитин Ю. Р., Абрамов И. В. О построении системы диагностирования станков с ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 4. – С. 32–35.
27. Никитин Ю. Р., Абрамов И. В. Применение системы нечеткого вывода для диагностирования электрических двигателей // Материалы 4-й Всероссийской мультиконференции – Т. 2. – Таганрог : Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – С. 370–372.
28. Никитин Ю. Р., Абрамов И. В., Степанов П. И. Логико-лингвистическая модель диагностирования и прогнозирования остаточного ресурса мехатронных объектов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2. – С. 79–87.
29. Петрухин В. В., Петрухин С. В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации: учебное пособие. – М. : Инфра-Инженерия, 2010. – 176 с.
30. Санников А. А., Кузубина Н. В. Техническая диагностика машин и оборудования // Подготовка кадров и эффективность производства. Предприятие – вуз. Опыт многолетнего сотрудничества : монограф. сб. / М-во образования и науки РФ, Урал. гос. лесотехн. ун-т ; [под ред. А. А. Санникова, Н. В. Кузубиной, Л. В. Фисюк]. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2013. – С. 263–280.
31. Сафарбаков А. М., Лукьянов А. В., Пахомов С. В. Основы технической диагностики: учебное пособие. – Иркутск: ИрГУПС, 2006. – 216 с.
32. Синопальников В. А., Григорьев С. Н. Надежность и диагностика технологических систем : учебник / В. А. Синопальников. – М. : Высш. шк., 2005. – 343 с.
33. Степанов П. И. Разработка модели системы комплексной диагностики электромеханического привода // Инновационные технологии и экономика в машиностроении : сб. тр. III Междунар. науч.-практ. конф. с элементами научной школы для молодых ученых : в 2 т. / Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – Т. 1. – С. 341–344.
34. Степанов П. И., Лагуткин С. В., Никитин Ю. Р. Комплексная токовая и вибродиагностика электромеханических систем // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2. – С. 160–165.
35. Схиртладзе А. Г., Уколов М. С., Скворцов А. В. Надежность и диагностика технологических систем : учебник / под ред. А. Г. Схиртладзе. – М. : Новое знание, 2008. – 518 с.
36. Явленский К. Н., Явленский А. К. Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем. – Л. : Машиностроение, Лен. отд. 1983. – 239 с.
37. ГОСТ Р ИСО 10816-4-99. Государственный стандарт Российской Федерации. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на возвращающихся частях. Ч. 4.

\* \* \*

K. L. Stolbov, Master's Degree Student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University  
Yu. R. Nikitin, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

#### Diagnosis of gearmotors for rolling mill line 250

The article considers diagnosis gearmotors of rolling mill line 250 on the basis of logical-linguistic model. The proposed model includes the description of the source of linguistic variables and technical conditions database system of fuzzy inference rules for determining the technical state of gearmotors. The new integral diagnostic parameter of gearmotors is proposed, namely the sum of amplitudes of vibration acceleration for the frequency range from 6.3 to 1250 Hz of the 1/3-octave filter.

**Keywords:** gearmotors, vibration, diagnosis, logical-linguistic model

Получено: 15.08.14

УДК 623.44

А. Г. Тарнаев  
ОАО «Завод № 9», г. Екатеринбург

#### О ВЫБОРЕ ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КЛИНОВОГО ЗАТВОРА АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ОРУДИЯ

Из анализа геометрии конструкции клинового затвора выводятся зависимости для передаточного отношения, связывающего перемещение выбрасывателя и перемещение клина. Показано, что максимальное значение передаточного отношения, зависящего от геометрии профилей пазов в клине и казеннике, составляет  $i_1 \approx 1,6$ , а выбор конструктивных параметров механизма затвора позволяет дополнительно изменять передаточное отношение  $i_2$  в пределах от 0,5 до 4,0.

**Ключевые слова:** артиллерийское орудие, клиновой затвор, передаточное отношение.

Одной из задач, решаемых при проектировании механизмов артиллерийского орудия, является задача о выборе конструктивно-компоновочной схемы и основных геометрических размеров затвора артиллерийского орудия. Практика показывает, что при проектировании нового артиллерийского орудия су-

ществует ограниченный набор типовых конструктивных решений затвора, который определяется, например, назначением орудия, его калибром, темпом стрельбы и прочими ограничениями. Вопросы оптимального проектирования затвора и его механизмов по условиям работоспособности рассматриваются,