

УДК 621.771

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ОСЦИЛЛОГРАММЫ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Андрей Анатольевич Мальцев

доцент кафедр ФН-7 и МТ-10 МГТУ им Н.Э. Баумана
e-mail: a.a.mal@bmstu.ru

Ирина Александровна Тарасенко

старший преподаватель кафедры ФН-7 МГТУ им Н.Э. Баумана
e-mail: iri-tarassenko@yandex.ru

Аннотация

Рассмотрены особенности цифровой обработки осциллограммы крутильных колебаний, возникающих в шпинделе электропривода рабочих валков черновой клетки широкополосного стана 1700, методами экстремумов, максимумов, минимумов и однопараметрическим методом размахов. В результате тестирования компьютерной программы, реализованной в среде MathCAD, построены спектры амплитуд полуциклов и циклов нагружения шпинделя крутящим моментом.

Ключевые слова: осциллограмма, электропривод, металлургия, шпиндель.

DIGITAL PROCESSING OF THE TORSIONAL OSCILLOGRAM BY ONE- PARAMETER METHODS

Andrey A. Maltsev

Associate Professor of Engineering,
BMSTU ФН-7 and МТ-10 Departments
e-mail: a.a.mal@bmstu.ru

Irina A. Tarasenko

Senior lecturer,
BMSTU ФН-7 Department
e-mail: iri-tarassenko@yandex.ru

ABSTRACT

The features of digital processing of the oscillogram of torsional vibrations arising in the spindle of the electric drive of the working rolls of the roughing stand of the broadband mill 1700 are considered by the methods of extremes, maxima, minima and the one-parameter swing method. As a result of testing a computer program implemented in the MathCAD environment, spectra of amplitude and average values of spindle loading cycles by torque are constructed.

Keywords: oscillogram, electric drive, metallurgy, spindle.

Актуальность и цель исследования

При подготовке к проведению научно-технической конференции «Студенческая весна» был запланирован доклад на тему «Динамические нагрузки и их негативное влияние на работу металлургических машин доменных, сталеплавильных и прокатных цехов».

В качестве объекта исследования взята осциллограмма крутящего момента, измеренного на валу шпинделя, входящего в состав электропривода рабочей клетки, относящейся к черновой группе широкополосного стана 1700 (рис. 1).

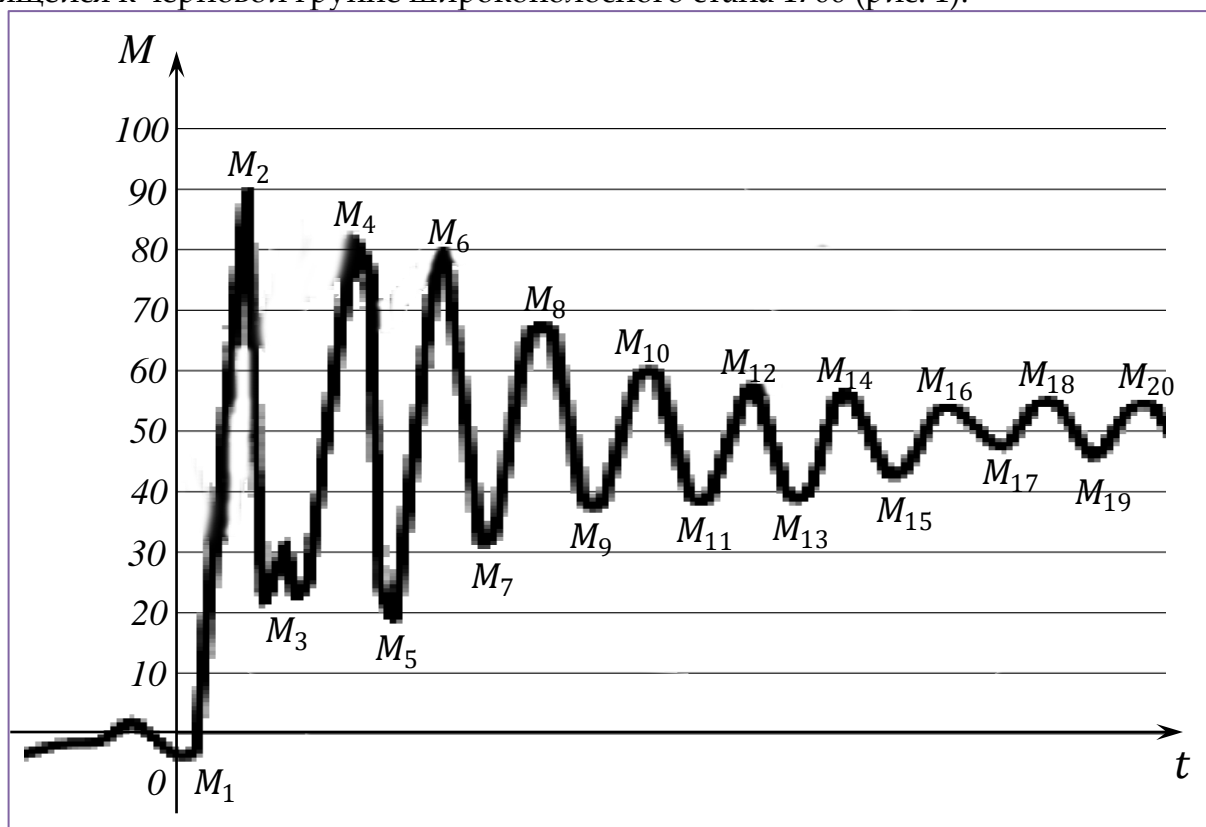


Рисунок 1. Переходный крутильно-колебательный процесс [1]:

M – крутящий момент [кН·м]; t – время [с];

M_1, M_2, \dots, M_{20} – экстремумы [кН·м]

Поставлена задача цифровой обработки осциллограммы с целью выявления амплитуд циклов нагрузки, что актуально для последующего прочностного расчета шпинделя.

Материалы и методы исследования

Цифровая обработка осциллограммы должна быть выполнена с учетом требований ГОСТ 25.101-83 «Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов».

В ГОСТе указан порядок схематизации случайного процесса нагружения (рис. 2) однопараметрическими методами.

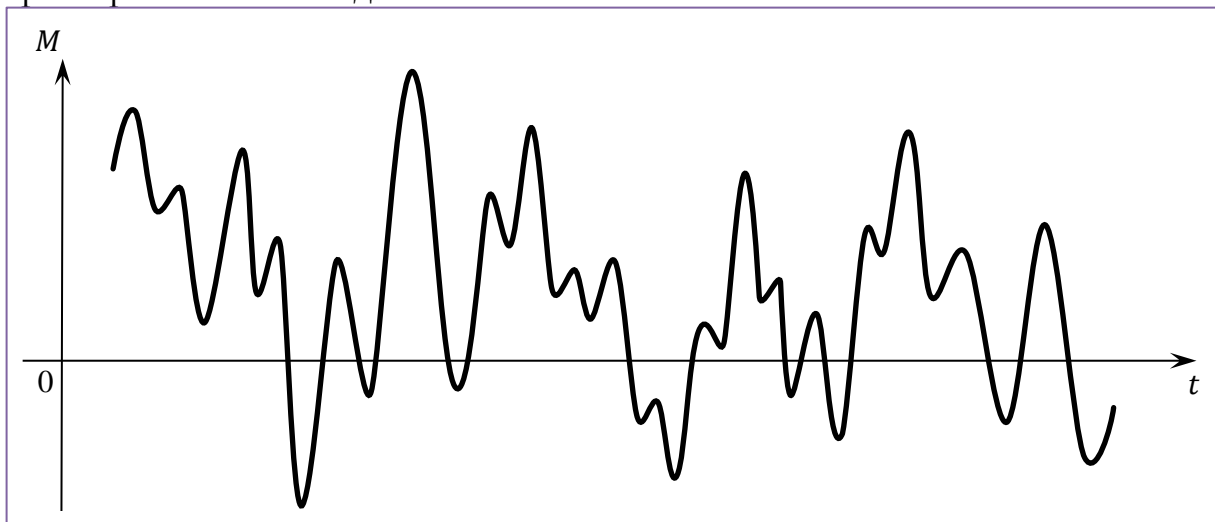


Рисунок 2. Случайный процесс нагружения:
 M — крутящий момент; t — время

Прежде всего, необходимо отыскать экстремумы (рис. 3).

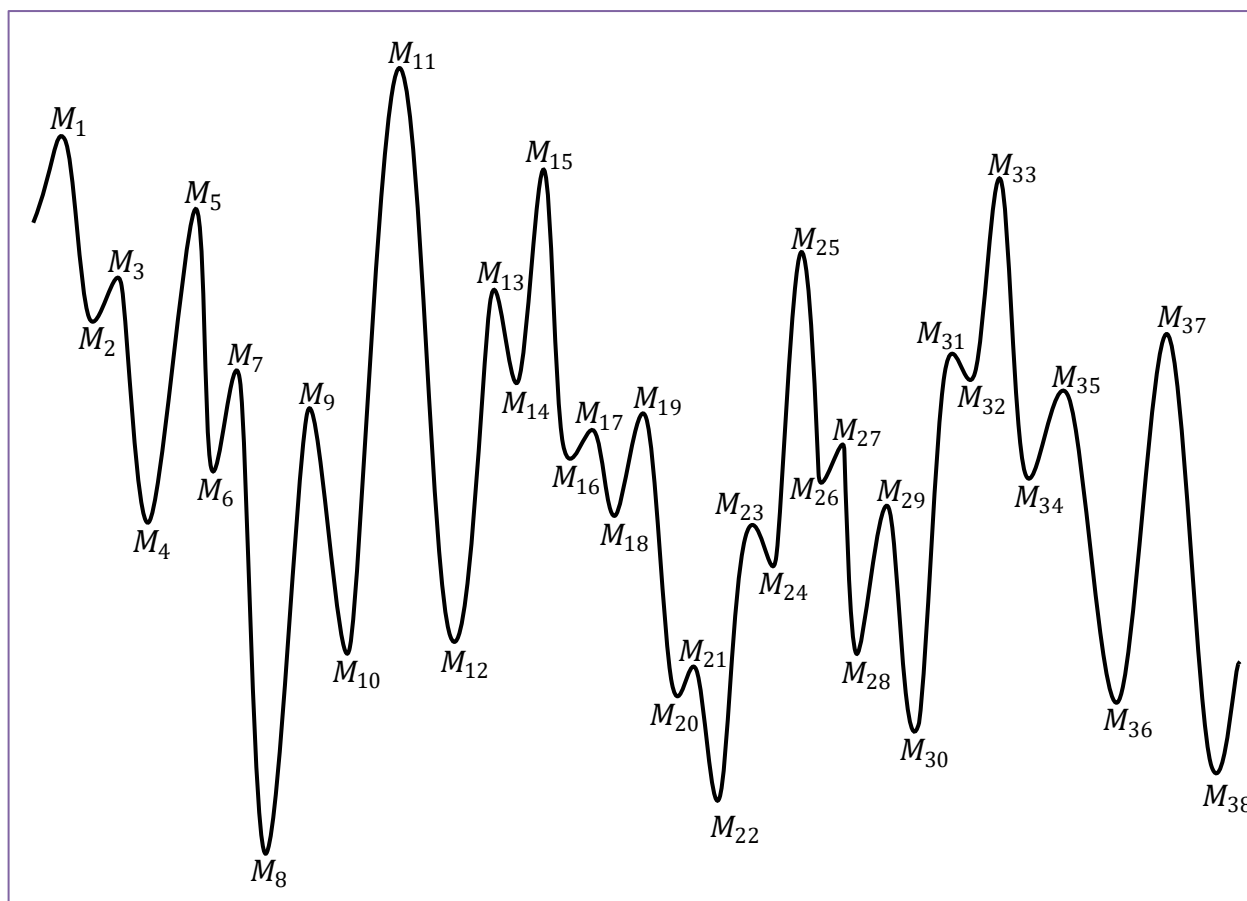


Рисунок 3. Выделение экстремумов:

M_1, M_3, \dots, M_{37} — максимумы;

M_2, M_4, \dots, M_{38} — минимумы

Среднеарифметическое значение экстремумов

$$M_{\text{ср}} = \frac{\sum M_i}{n_{\text{э}}} = \frac{M_1 + M_2 + \dots + M_{38}}{38},$$

где $n_{\text{э}}$ — число экстремумов.

Коэффициент нерегулярности процесса нагружения

$$\chi = \frac{n_0}{n_{\text{э}}},$$

где n_0 — число точек пересечения уровня среднеарифметического значения экстремумов $M_{\text{ср}}$ осциллограммой (рис. 4).

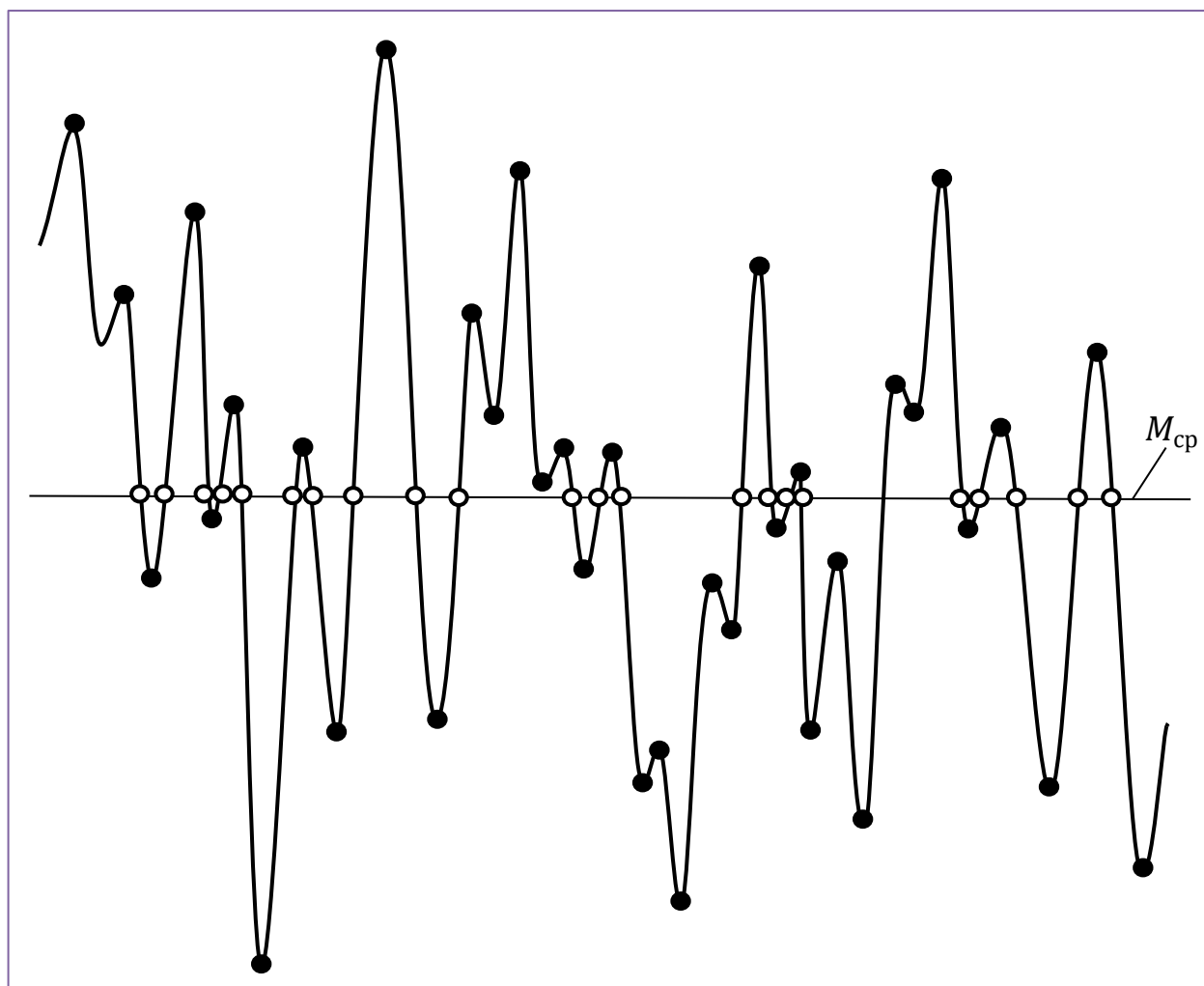


Рисунок 4. К вычислению коэффициента χ :

M_{cp} – уровень среднеарифметического значения экстремумов;

○ – точка пересечения; ● – экстремум

Медиана экстремумов Me – значение крутящего момента, соответствующее 50% вероятности распределения экстремумов.

К однопараметрическим методам относятся метод экстремумов ($0,5 \leq \chi \leq 1$), метод максимумов ($0,5 \leq \chi \leq 1$), метод минимумов ($0,5 \leq \chi \leq 1$) и однопараметрический метод размахов ($0,8 \leq \chi \leq 1$).

При обработке осциллограммы по методу экстремумов (рис. 5) сначала необходимо отыскать все положительные максимумы (выше уровня медианы Me) и все отрицательные минимумы (ниже уровня медианы Me).

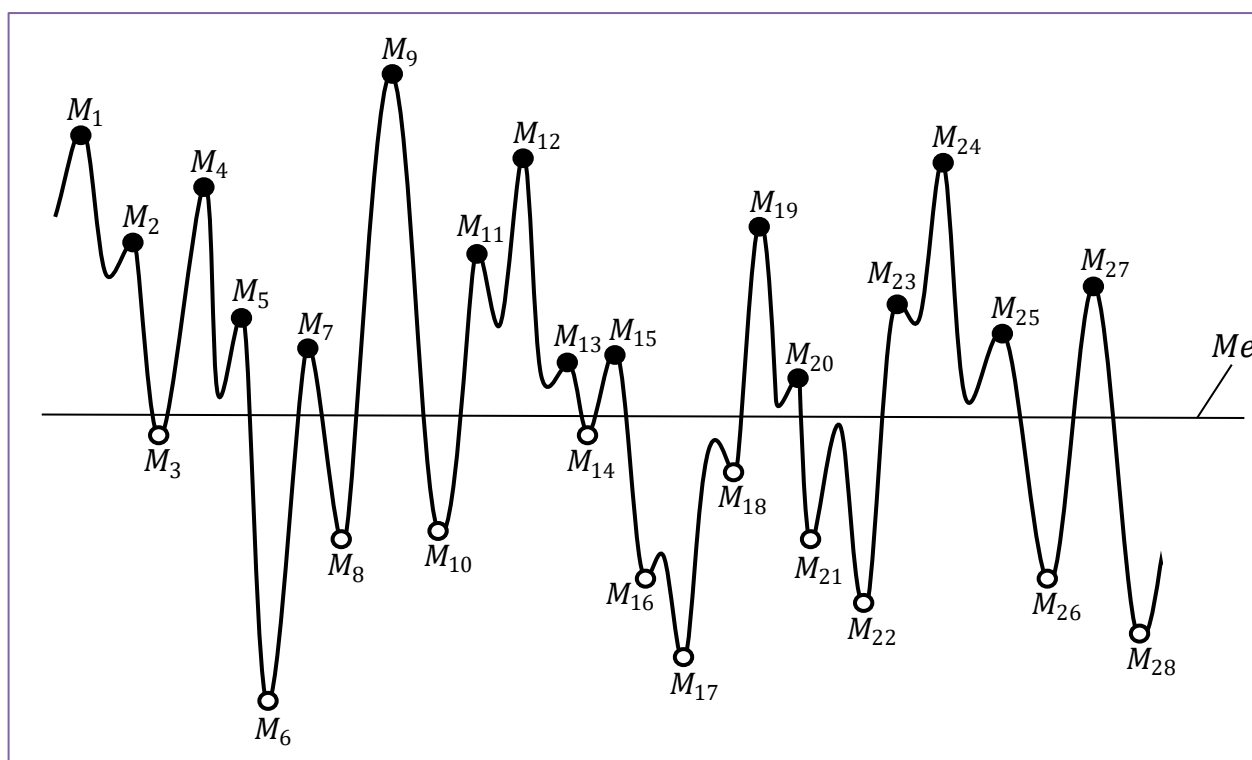


Рисунок 5. Обработка методом экстремумов:

M_1, M_2, \dots, M_{28} – экстремумы;

Me – уровень медианы экстремумов;

● – положительные максимумы;

○ – отрицательные минимумы

Затем требуется зарегистрировать амплитуды полуциклов нагружения

$$M_{a1} = |M_1 - Me|;$$

$$M_{a2} = |M_2 - Me|;$$

⋮

$$M_{a28} = |M_{28} - Me|.$$

При обработке осциллограммы по методу максимумов рассмотрению подлежат только положительные максимумы.

Амплитуды циклов нагружения

$$M_{a1} = M_1 - Me;$$

$$M_{a2} = M_2 - Me;$$

$$M_{a3} = M_4 - Me;$$

$$M_{a4} = M_5 - Me;$$

$$M_{a5} = M_7 - Me;$$

$$M_{a6} = M_9 - Me;$$

$$M_{a7} = M_{11} - Me;$$

$$M_{a8} = M_{12} - Me;$$

$$M_{a9} = M_{13} - Me;$$

$$M_{a10} = M_{15} - Me;$$

$$\begin{aligned}
 M_{a\ 11} &= M_{19} - Me; \\
 M_{a\ 12} &= M_{20} - Me; \\
 M_{a\ 13} &= M_{23} - Me; \\
 M_{a\ 14} &= M_{24} - Me; \\
 M_{a\ 15} &= M_{25} - Me; \\
 M_{a\ 16} &= M_{27} - Me.
 \end{aligned}$$

При обработке осциллограммы по методу минимумов рассматриваются только отрицательные минимумы.

Амплитуды циклов нагружения

$$\begin{aligned}
 M_{a\ 1} &= Me - M_3; \\
 M_{a\ 2} &= Me - M_6; \\
 M_{a\ 3} &= Me - M_8;
 \end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned}
 M_{a\ 10} &= Me - M_{22}; \\
 M_{a\ 11} &= Me - M_{26}; \\
 M_{a\ 12} &= Me - M_{28}.
 \end{aligned}$$

При обработке осциллограммы по однопараметрическому методу размахов за размах принимается абсолютное значение разности следующих друг за другом экстремумов (рис. 6).

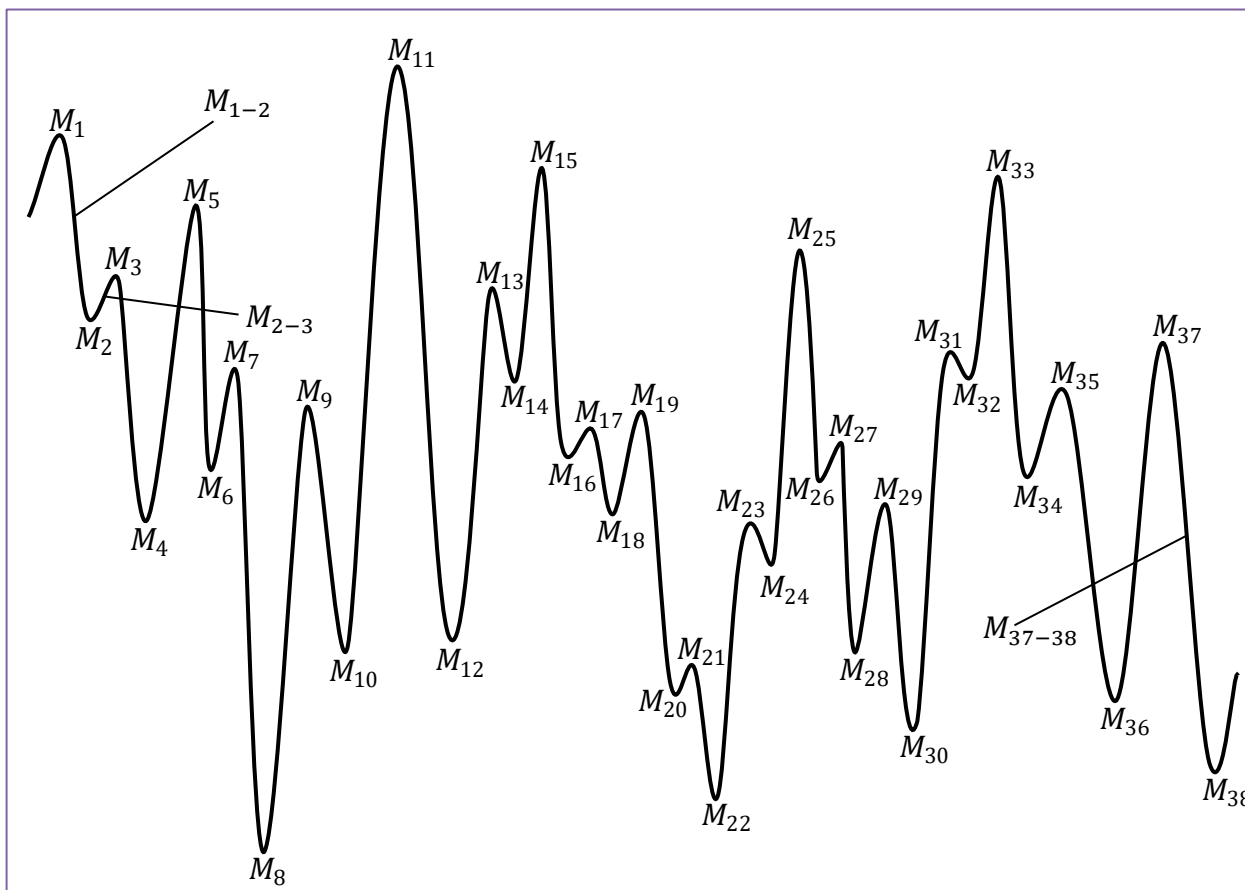


Рисунок 6. Обработка однопараметрическим методом размахов:

M_1, M_2, \dots, M_{38} — экстремумы;

$M_{1-2}, M_{3-4}, \dots, M_{37-38}$ — нисходящие размахи;

$M_{2-3}, M_{4-5}, \dots, M_{36-37}$ – восходящие размахи;

Амплитуды полуциклов нагружения

$$M_{a\ 1-2} = \frac{|M_1 - M_2|}{2};$$

$$M_{a\ 2-3} = \frac{|M_2 - M_3|}{2};$$

$$\vdots$$

$$M_{a\ 37-38} = \frac{|M_{37} - M_{38}|}{2}.$$

Результаты исследования

Цифровая обработка осциллограммы однопараметрическими методами реализована в среде MathCAD [2, 3].

Задан вектор-столбец экстремумов M_1, M_2, \dots, M_{20} осциллограммы:

$$M := \begin{pmatrix} -5 \\ 90 \\ 22 \\ 83 \\ 19 \\ 80 \\ 30 \\ 68 \\ 38 \\ 60 \\ 39 \\ 57 \\ 39 \\ 56 \\ 44 \\ 55 \\ 48 \\ 56 \\ 46 \\ 55 \end{pmatrix}$$

Вычислено среднеарифметическое значение экстремумов:

$$M_{\text{ср}} := \text{mean}(M)$$

$$M_{\text{ср}} = 49$$

Встроенная в MathCAD статистическая функция $\text{mean}(A, B, C, \dots)$ возвращает среднеарифметическое значение элементов A, B, C, \dots

Вычислена медиана экстремумов:

$$Me := \text{median}(M)$$

$$Me = 51.5$$

Встроенная в MathCAD статистическая функция $\text{median}(A, B, C, \dots)$ возвращает медиану элементов A, B, C, \dots

Введена индексация от 1 до 20:

$$\text{индекс} := 1..20$$

Построена диаграмма экстремумов M_1, M_2, \dots, M_{20} (рис. 7).

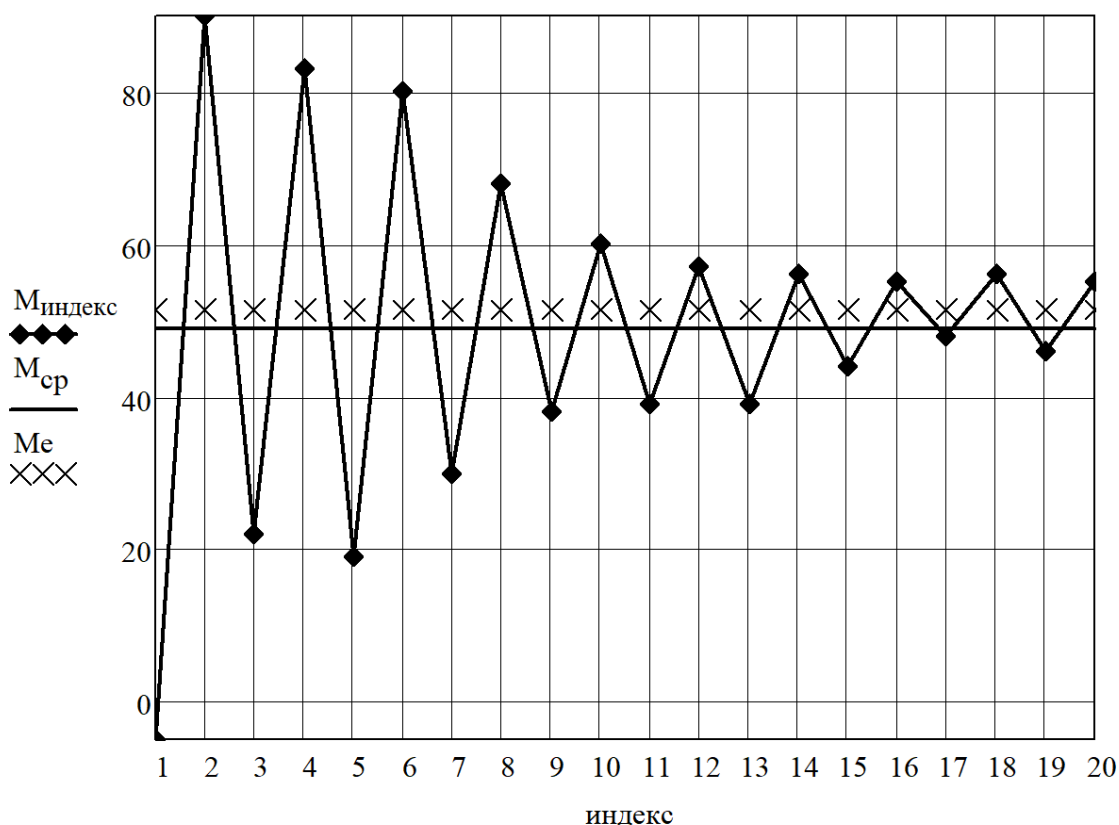


Рисунок 7. Диаграмма экстремумов:

M_1, M_2, \dots, M_{20} – экстремумы [кН·м];

$M_{\text{ср}} = 49$ – среднеарифметическое значение экстремумов [кН·м];

$Me = 52$ – медианное значение экстремумов

По диаграмме экстремумов найден коэффициент нерегулярности процесса нагружения

$$\chi := \frac{19}{20}$$

$$\chi = 0.95$$

Поскольку $0,5 < \chi \leq 1$, допустимо использовать методы экстремумов, максимумов и минимумов для обработки осциллограммы, в противном случае, когда $\chi \leq 0,5$, эти методы неприменимы.

Результаты теста 1

Вычислены амплитуды A_i [кН·м] полуциклов нагружения шпинделя крутящим моментом по формуле метода экстремумов

$$A_{\text{индекс}} := |M_{\text{индекс}} - M_e|$$

Построен спектр амплитуд полуциклов нагружения шпинделя крутящим моментом (рис. 8).

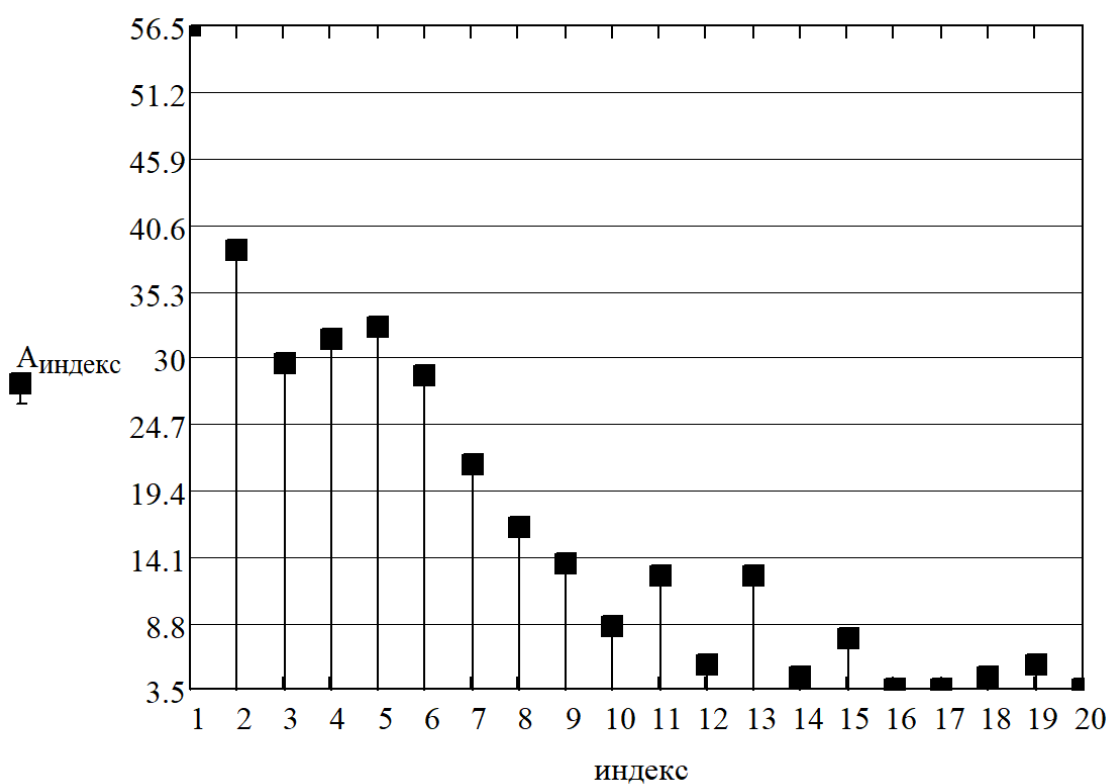
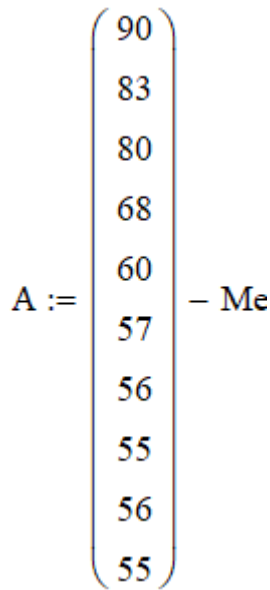


Рисунок 8. Результат реализации метода экстремумов

Результаты теста 2

Вычислены амплитуды A_i [кН·м] циклов нагружения шпинделя крутящим моментом по формуле метода максимумов



Введена индексация от 1 до 10:

индекс := 1..10

9). Построен спектр амплитуд циклов нагружения шпинделя крутящим моментом (рис.

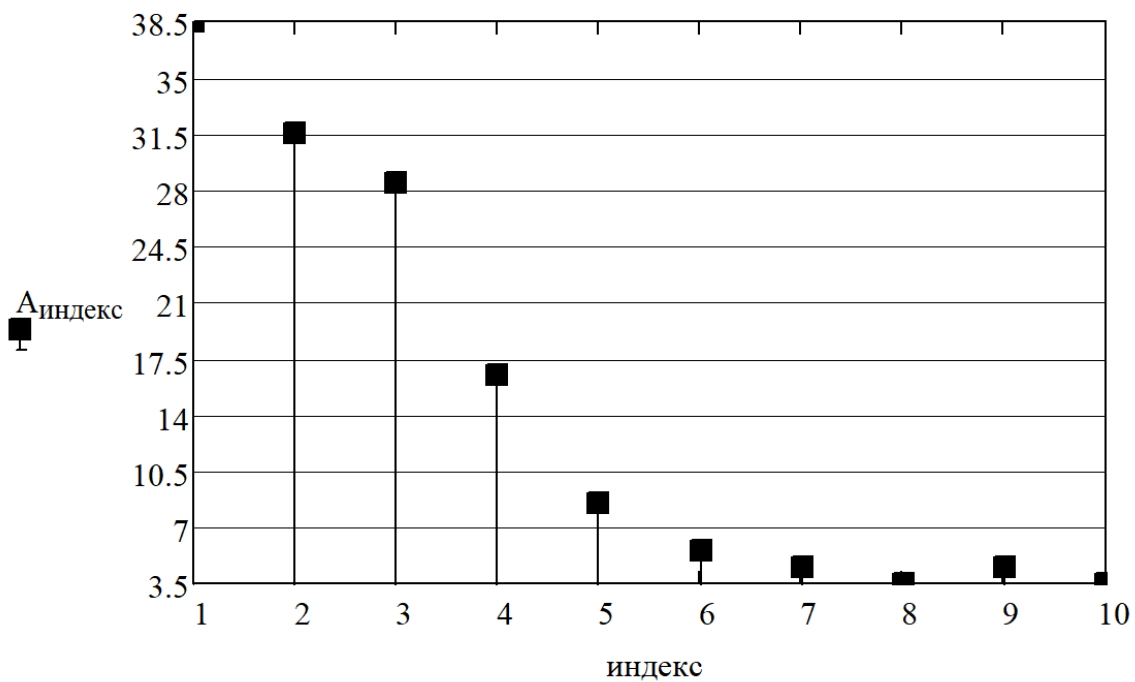
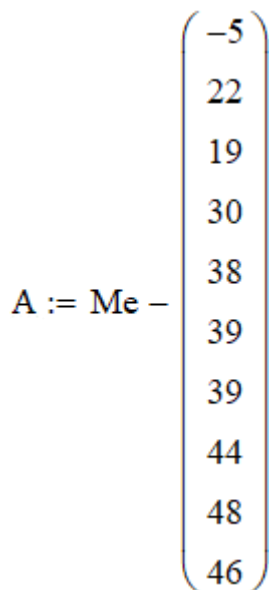


Рисунок 9. Результат реализации метода максимумов

Результаты теста 3

Вычислены амплитуды A_i [кН·м] циклов нагружения шпинделя крутящим моментом по формуле метода минимумов



Введена индексация от 1 до 10:

`индекс := 1..10`

10). Построен спектр амплитуд циклов нагружения шпинделя крутящим моментом (рис.

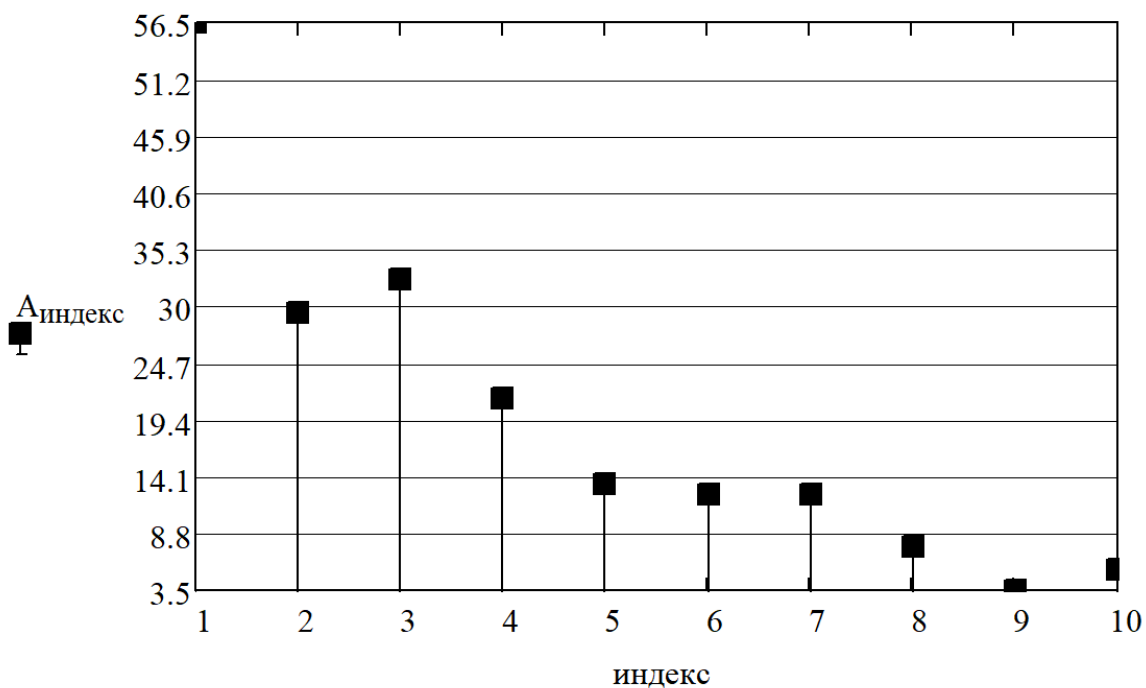


Рисунок 10. Результат реализации метода минимумов

Результаты теста 4

Вычислены амплитуды A_i [кН·м] полуциклов нагружения шпинделя крутящим моментом по формуле однопараметрического метода размахов:

$$A := \frac{\begin{pmatrix} |-5 - 90| \\ |90 - 22| \\ |22 - 83| \\ |83 - 19| \\ |19 - 80| \\ |80 - 30| \\ |30 - 68| \\ |68 - 38| \\ |38 - 60| \\ |60 - 39| \\ |39 - 57| \\ |57 - 39| \\ |39 - 56| \\ |56 - 44| \\ |44 - 55| \\ |55 - 48| \\ |48 - 56| \\ |56 - 46| \\ |46 - 55| \end{pmatrix}}{2}$$

Введена индексация от 1 до 19:

индекс := 1..19

Построен спектр амплитуд полуциклов нагружения шпинделя крутящим моментом (рис. 11).

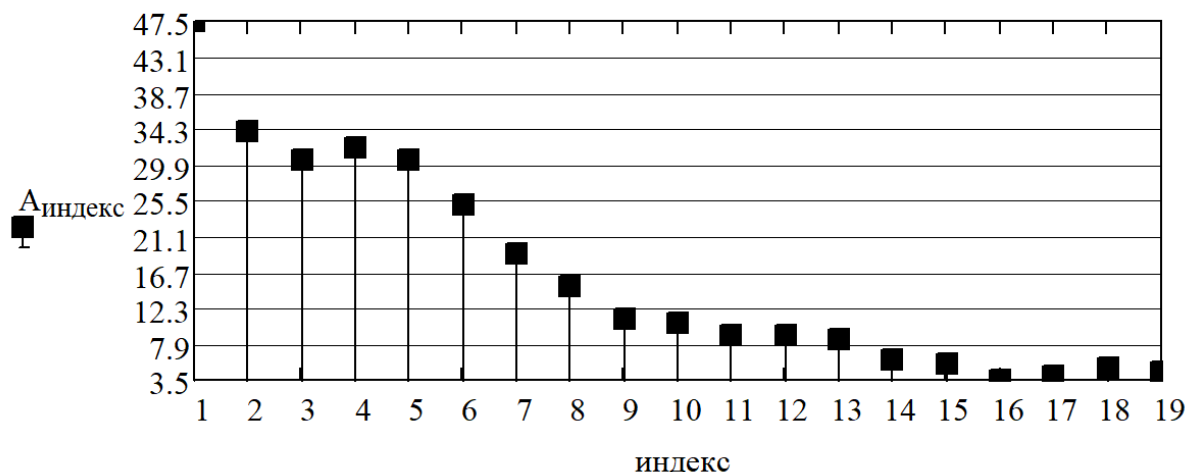


Рисунок 11. Результат реализации однопараметрического метода размахов

Заключение

Осциллограмма крутильных колебаний, возникающих в шпинделе электропривода рабочих валков черновой клети широкополосного стана 1700, была преобразована в спектр амплитуд циклов (или полуциклов) нагрузки следующими четырьмя способами:

- тест 1 – обработка методом экстремумов;
- тест 2 – обработка методом максимумов;
- тест 3 – обработка методом минимумов;
- тест 4 – обработка однопараметрическим методом размахов.

Найденные амплитуды циклов нагрузки обязательно будут учтены на этапе выполнения прочностного расчета шпинделя при подготовке к проведению научно-технической конференции «Студенческая весна».

Список литературы

1. Иванченко Ф.К., Красношарпа В.А. Динамика металлургических машин. – Москва: Металлургия, 1983. – 295 с.
2. Мальцев А.А. Алгоритм цифровой обработки осциллограммы крутящего момента на валу электродвигателя автоматического стана. – [Электронный ресурс] Оригинальные исследования (ОРИС). 2020. Т.10, №1. С.107–117. – Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2020-oris-01-2020/a229877>
3. Мальцев А.А., Беляков Ю.И., Тарасенко И.А. Статистическое моделирование циклического ресурса шпиндельного вала электропривода металлургической машины. – [Электронный ресурс] Оригинальные исследования (ОРИС). 2020. Т.10. №4. С.158–169. – Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2020-oris-4-2020/a229937>

References

1. F.K. Ivanchenko, V.A. Krasnoshapka. Dynamics of metallurgical machines. – Moscow: Metallurgy, 1983. – 295 p.
2. A.A. Maltsev. Algorithm for digital processing of the torque oscillogram on the shaft of the electric motor of the automatic mill. – [Electronic resource] Original research (ORIS). 2020. Vol.10, No1. P.107–117. – Access mode: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2020-oris-01-2020/a229877>
3. A.A. Maltsev, Yu.I. Belyakov, I.A. Tarasenko. Statistical modeling of the cyclic resource of the spindle shaft of an electric drive of a metallurgical machine. – [Electronic resource] Original research (ORIS). 2020. Vol.10. No 4. P.158–169. – Access mode: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2020-oris-4-2020/a229937>