

УДК 621.771

**ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ОСЦИЛЛОГРАММЫ КРУТИЛЬНЫХ
КОЛЕБАНИЙ ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ****Андрей Анатольевич Мальцев**доцент кафедр ФН-7 и МТ-10 МГТУ им Н.Э. Баумана
e-mail: a.a.mal@bmstu.ru**Аннотация**

Осциллограмма крутильных колебаний в шпинделе электропривода рабочих валков черновой клетки широкополосного стана 1700 обработана двухпараметрическим методом размахов, методом полных циклов и методом «дождя». В результате тестирования компьютерной программы построены спектры амплитудных и средних значений 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**ABSTRACT**

The oscillogram of torsional vibrations in the spindle of the electric drive of the working rolls of the roughing stand of the broadband mill 1700 was processed by the two-parameter swing method, the full cycle method and the "rain" method. As a result of testing the computer program, the spectra of the amplitude and average values of the spindle loading cycles by torque are constructed.

Keywords: oscillogram, electric drive, metallurgy, spindle.

Актуальность и цель исследования

Цифровая обработка осциллограммы крутильных колебаний актуальна для подготовки иллюстративного материала к обзорному докладу на тему «Динамические нагрузки и их негативное влияние на работу металлургических машин доменных, сталеплавильных и прокатных цехов», запланированного в рамках проведения научно-технической конференции «Студенческая весна».

В качестве объекта исследования взят электропривод рабочей клетки, относящейся к черновой группе широкополосного стана 1700 (рис. 1).



Рисунок 1. Рабочие клетки прокатного стана

Поставлена задача цифровой обработки осциллограммы упругого момента в шпинделе электропривода двухпараметрическими методами с целью выявления не только амплитуд, но и средних значений циклов нагрузки (рис. 2).

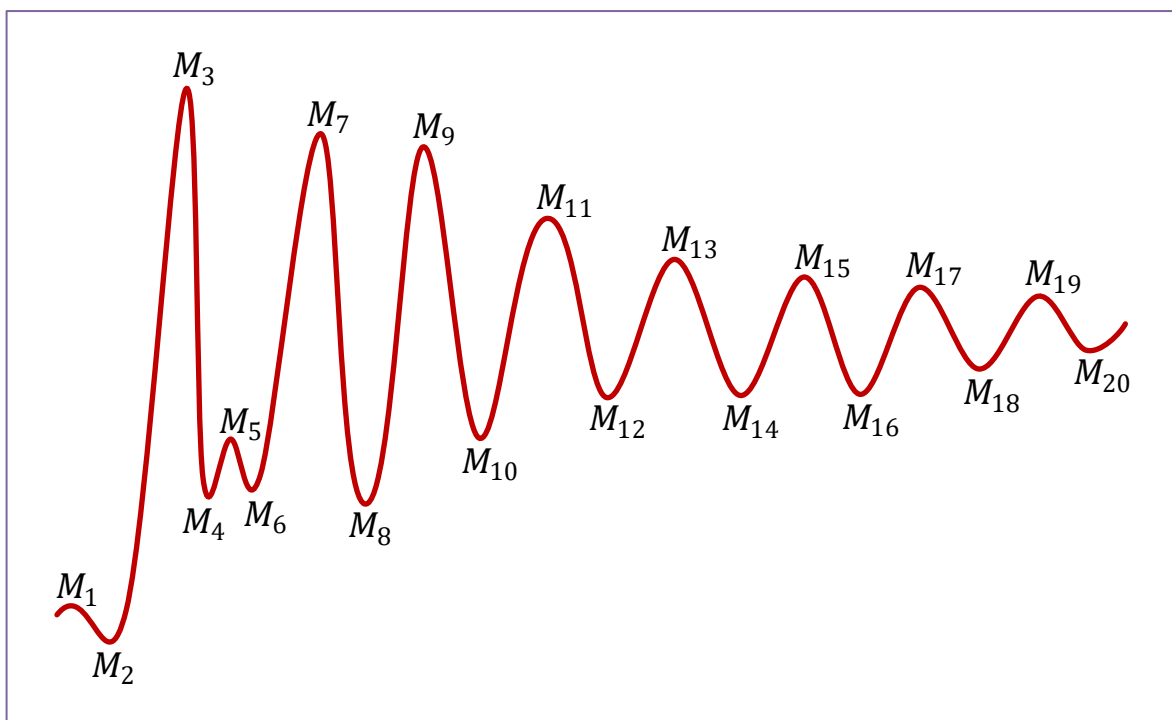


Рисунок 2. Осциллограмма крутильных колебаний [1]:
 M_1, M_2, \dots, M_{20} – экстремумы крутящего момента [кН·м];

$$M = \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ M_4 \\ M_5 \\ M_6 \\ M_7 \\ M_8 \\ M_9 \\ M_{10} \\ M_{11} \\ M_{12} \\ M_{13} \\ M_{14} \\ M_{15} \\ M_{16} \\ M_{17} \\ M_{18} \\ M_{19} \\ M_{20} \end{matrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ -5 \\ 90 \\ 22 \\ 32 \\ 23 \\ 82 \\ 19 \\ 80 \\ 30 \\ 68 \\ 37 \\ 60 \\ 38 \\ 58 \\ 39 \\ 56 \\ 42 \\ 55 \\ 47 \end{bmatrix}$$

В проведенных ранее исследованиях [2] эта осциллограмма обрабатывалась только однопараметрическими методами 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».

Материалы и методы исследования

К двухпараметрическим методам схематизации случайных процессов нагружения относятся двухпараметрический метод размахов ($0,5 \leq \chi \leq 1$), метод полных циклов ($0 \leq \chi \leq 1$) и метод «дождя» ($0 \leq \chi \leq 1$), где χ – коэффициент нерегулярности процесса нагружения.

Двухпараметрический метод размахов аналогичен однопараметрическому с той лишь разницей, что регистрации подлежат не только амплитуды, но и средние значения размахов (рис. 3).

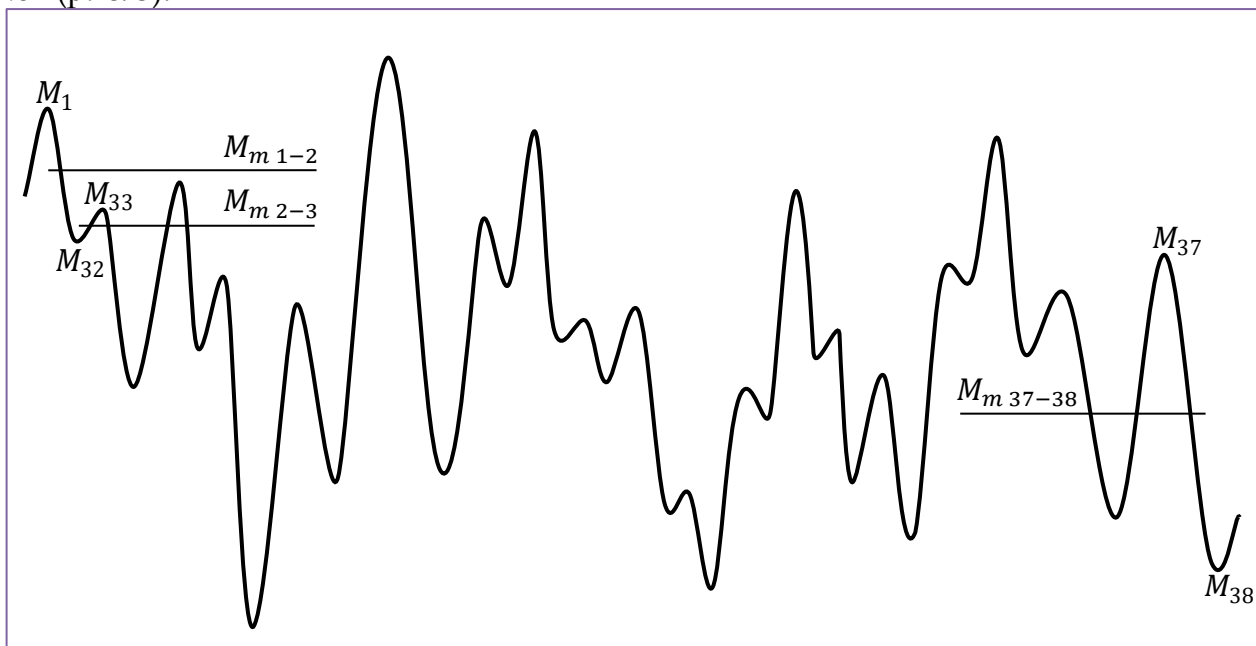


Рисунок 3. Схематизация методом размахов:

M_1, M_2, \dots, M_{38} – экстремумы;

$M_{m 1-2}, M_{m 2-3}, \dots, M_{m 37-38}$ – средние значения размахов

Амплитуды и средние значения полуциклов (размахов) нагружения

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

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

$$\vdots$$

$$M_{a 37-38} = \frac{|M_{37} - M_{38}|}{2}; \quad M_{m 37-38} = \frac{M_{37} + M_{38}}{2}.$$

Метод полных циклов заключается в поэтапном выделении циклов в порядке укрупнения их размахов.

Амплитуды и средние значения полных циклов нагружения, зарегистрированные на первом этапе и исключенные из дальнейшего рассмотрения (рис. 4):

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

$$M_{a 16-17} = \frac{|M_{16} - M_{17}|}{2}; \quad M_{m 16-17} = \frac{M_{16} + M_{17}}{2};$$

$$M_{a\ 20-21} = \frac{|M_{20} - M_{21}|}{2}; \quad M_{m\ 20-21} = \frac{M_{20} + M_{21}}{2};$$

$$M_{a\ 23-24} = \frac{|M_{23} - M_{24}|}{2}; \quad M_{m\ 23-24} = \frac{M_{23} + M_{24}}{2};$$

$$M_{a\ 26-27} = \frac{|M_{26} - M_{27}|}{2}; \quad M_{m\ 26-27} = \frac{M_{26} + M_{27}}{2};$$

$$M_{a\ 31-32} = \frac{|M_{31} - M_{32}|}{2}; \quad M_{m\ 31-32} = \frac{M_{31} + M_{32}}{2}.$$

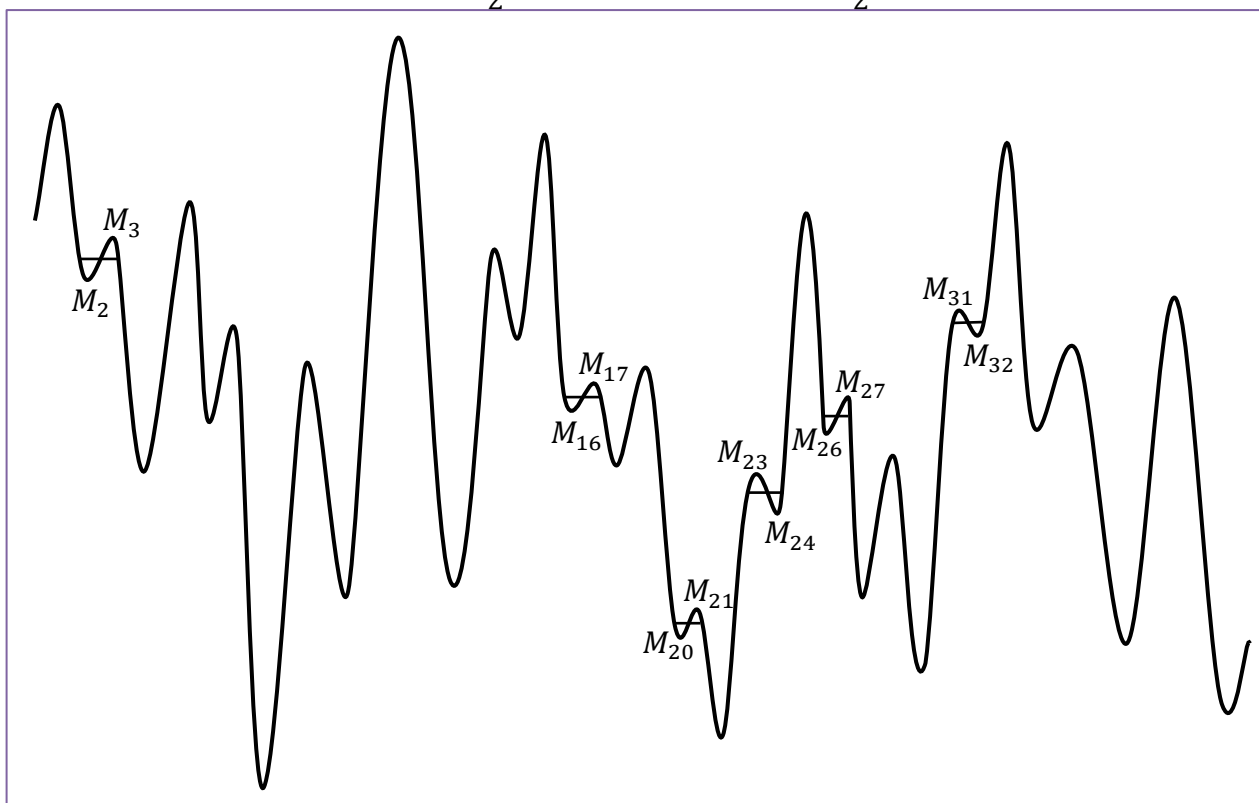


Рисунок 4. Первый этап схематизации методом полных циклов:

$|M_2 - M_3|, |M_{16} - M_{17}|, \dots, |M_{31} - M_{32}|$ – размахи выделенных циклов

Амплитуды и средние значения полных циклов нагружения, зарегистрированные на втором этапе и исключенные из дальнейшего рассмотрения (рис. 5):

$$M_{a\ 6-7} = \frac{|M_6 - M_7|}{2}; \quad M_{m\ 6-7} = \frac{M_6 + M_7}{2};$$

$$M_{a\ 13-14} = \frac{|M_{13} - M_{14}|}{2}; \quad M_{m\ 13-14} = \frac{M_{13} + M_{14}}{2};$$

$$M_{a\ 18-19} = \frac{|M_{18} - M_{19}|}{2}; \quad M_{m\ 18-19} = \frac{M_{18} + M_{19}}{2};$$

$$M_{a\ 28-29} = \frac{|M_{28} - M_{29}|}{2}; \quad M_{m\ 28-29} = \frac{M_{28} + M_{29}}{2};$$

$$M_{a\ 34-35} = \frac{|M_{34} - M_{35}|}{2}; \quad M_{m\ 34-35} = \frac{M_{34} + M_{35}}{2}.$$

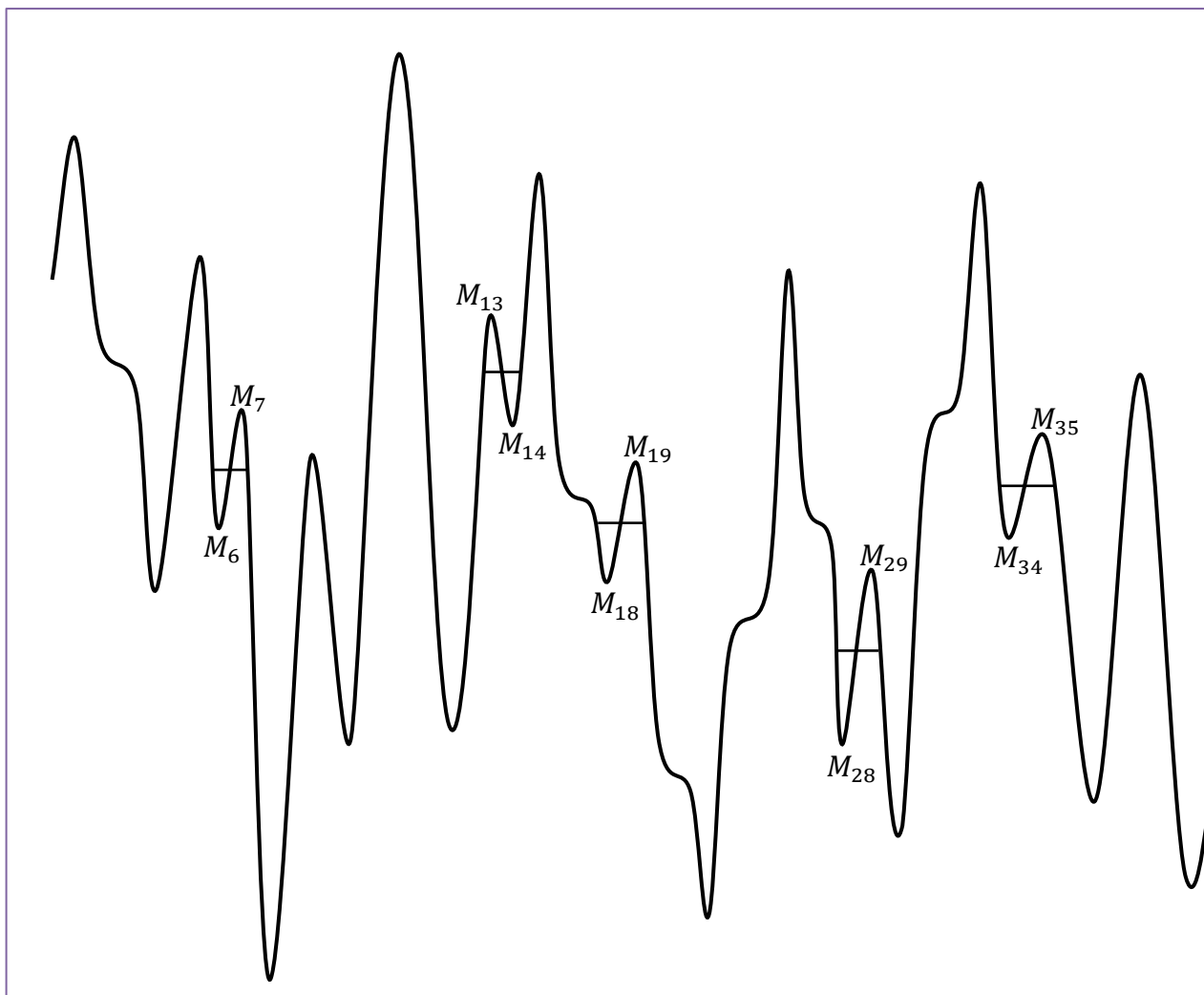


Рисунок 5. Второй этап схематизации методом полных циклов:

$|M_6 - M_7|, |M_{13} - M_{14}|, \dots, |M_{34} - M_{35}|$ – размахи выделенных циклов

Амплитуды и средние значения полных циклов нагружения, зарегистрированные на третьем этапе и исключенные из рассмотрения (рис. 6):

$$M_{a\ 4-5} = \frac{|M_4 - M_5|}{2}; \quad M_{m\ 4-5} = \frac{M_4 + M_5}{2};$$

$$M_{a\ 9-10} = \frac{|M_9 - M_{10}|}{2}; \quad M_{m\ 9-10} = \frac{M_9 + M_{10}}{2};$$

$$M_{a\ 36-37} = \frac{|M_{36} - M_{37}|}{2}; \quad M_{m\ 36-37} = \frac{M_{36} + M_{37}}{2}.$$

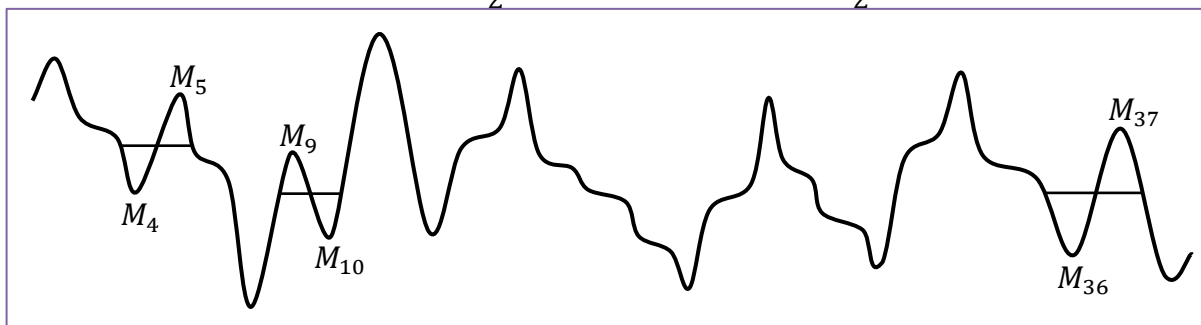


Рисунок 6. Третий этап схематизации методом полных циклов:
 $|M_4 - M_5|, |M_9 - M_{10}|, \dots, |M_{36} - M_{37}|$ – размахи выделенных циклов

Амплитуды и средние значения полных циклов нагружения, зарегистрированные на четвертом этапе и исключенные из рассмотрения (рис. 7):

$$M_{a\ 12-15} = \frac{|M_{12} - M_{15}|}{2}; \quad M_{m\ 12-15} = \frac{M_{12} + M_{15}}{2};$$

$$M_{a\ 25-30} = \frac{|M_{25} - M_{30}|}{2}; \quad M_{m\ 25-30} = \frac{M_{25} + M_{30}}{2}.$$

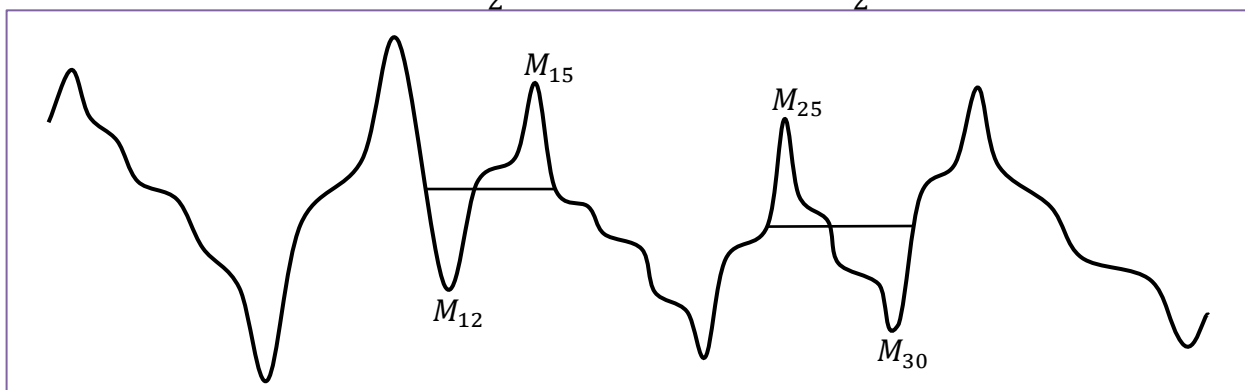


Рисунок 7. Четвертый этап схематизации методом полных циклов:
 $|M_{12} - M_{15}|, |M_{25} - M_{30}|$ – размахи выделенных циклов

Амплитуды и средние значения полных циклов нагружения, зарегистрированные на пятом этапе и исключенные из рассмотрения (рис. 8):

$$M_{a\ 1-8} = \frac{|M_1 - M_8|}{2}; \quad M_{m\ 1-8} = \frac{M_1 + M_8}{2};$$

$$M_{a\ 11-22} = \frac{|M_{11} - M_{22}|}{2}; \quad M_{m\ 11-22} = \frac{M_{11} + M_{22}}{2};$$

$$M_{a\ 33-38} = \frac{|M_{33} - M_{38}|}{2}; \quad M_{m\ 33-38} = \frac{M_{33} + M_{38}}{2}.$$

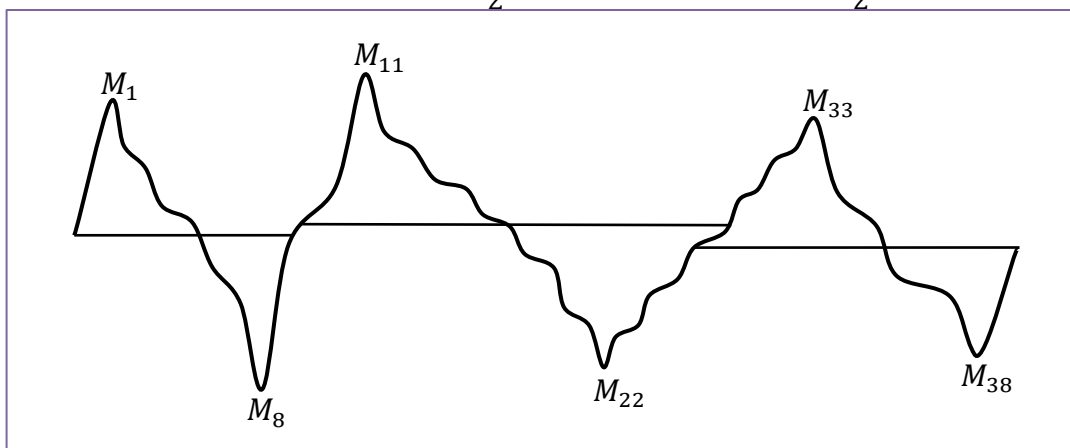


Рисунок 8. Пятый этап схематизации методом полных циклов:
 $|M_1 - M_8|, |M_{11} - M_{22}|, |M_{33} - M_{38}|$ – размахи выделенных циклов

Амплитуда и среднее значение цикла нагружения, зарегистрированные на шестом этапе (рис. 9):

$$M_{a8-11} = \frac{|M_8 - M_{11}|}{2}; \quad M_{m8-11} = \frac{M_8 + M_{11}}{2}.$$

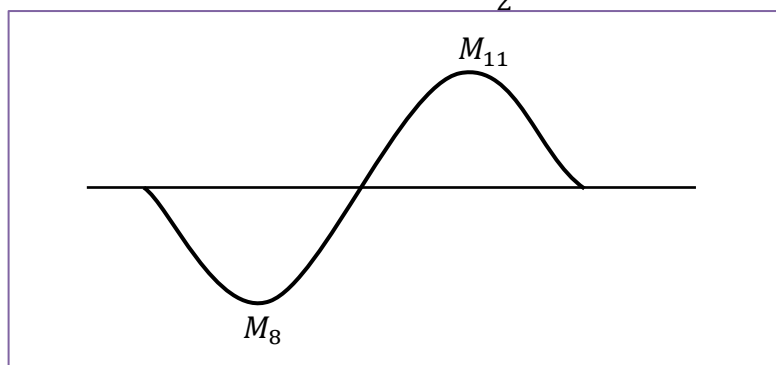


Рисунок 9. Цикл, выделенный на шестом этапе схематизации:

$|M_8 - M_{11}|$ – размах самого крупного цикла

Метод «дождя» получил свое название из-за сходства с дождевыми ручьями, стекающими сверху вниз по многоярусной крыше (рис. 10).

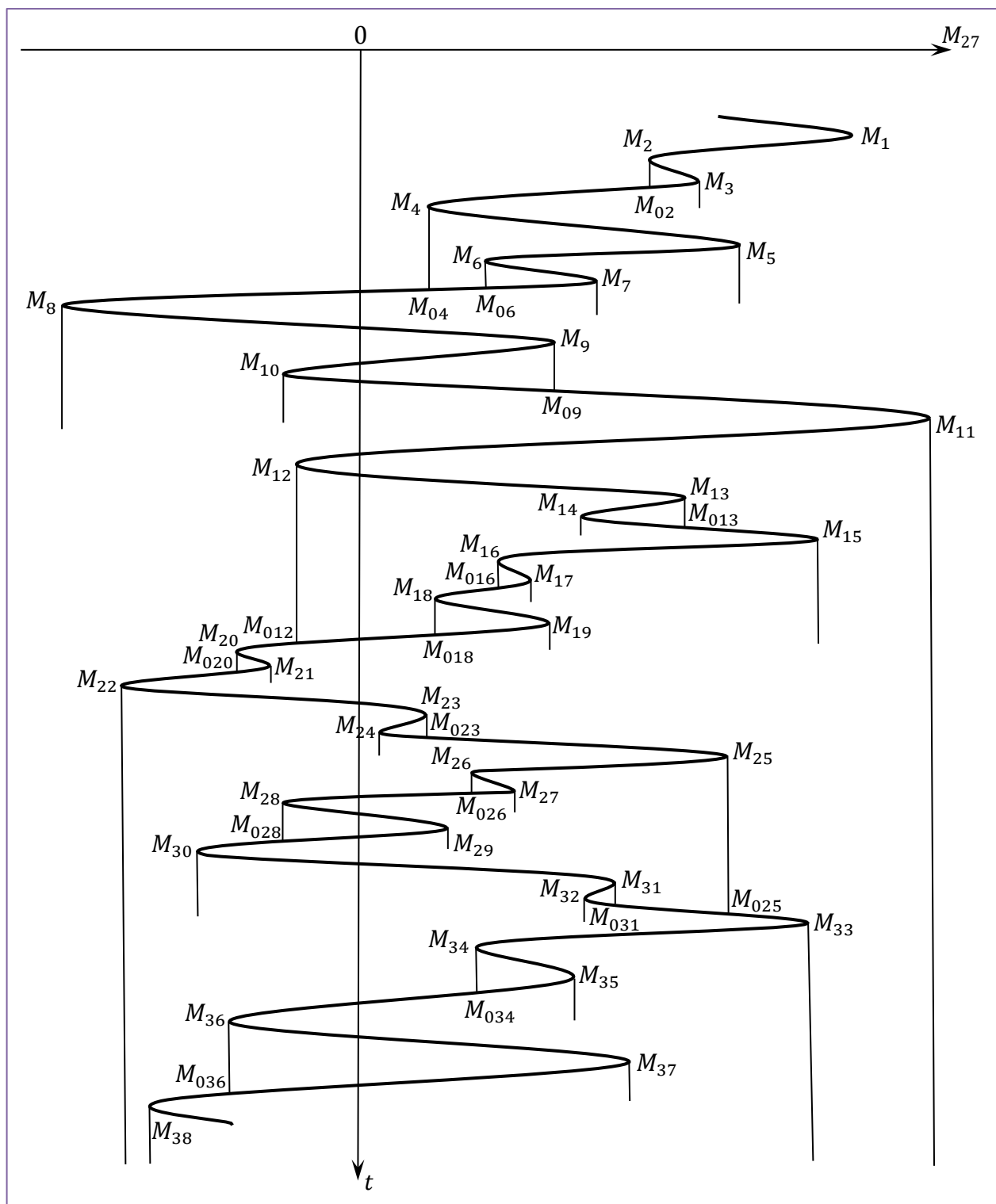


Рисунок 10. Схематизация методом «дождя»:

M_1, M_3, \dots, M_{37} – максимумы;

M_2, M_4, \dots, M_{38} – минимумы

Для удобства ось времени t направлена вертикально вниз.

Правила метода «дождя»:

1. Из каждого экстремума вытекает ручей.

2. Ручей из точки максимума прерывается напротив еще большего максимума, а ручей из точки минимума прерывается напротив еще меньшего минимума.

3. При встрече на одной из крыш нескольких ручьев, течь продолжает только один ручей (из экстремума с меньшим номером индекса), а остальные ручьи прерываются.

4. Ручей, не встретивший препятствий, падает на землю.

Ручей $M_1—M_2—M_{02}—M_4—M_{04}—M_8$ прерван в падении напротив M_{11} , поскольку $M_{11} > M_1$. Зарегистрирован размах $M_1—M_8$.

Ручей $M_2—M_3$ прерван в падении напротив M_4 , поскольку $M_4 < M_2$. Зарегистрирован размах $M_2—M_3$.

Ручей $M_3—M_{02}$ прерван под M_2 , поскольку $M_1 > M_3$. Зарегистрирован размах $M_3—M_{02}$.

Ручей $M_4—M_5$ прерван в падении напротив M_8 , поскольку $M_8 < M_4$. Зарегистрирован размах $M_4—M_5$.

Ручей $M_5—M_6—M_{06}—M_{04}$ прерван под M_4 , поскольку $M_1 > M_5$. Зарегистрирован размах $M_5—M_{04}$.

Ручей $M_6—M_7$ прерван в падении напротив M_8 , поскольку $M_8 < M_6$. Зарегистрирован размах $M_6—M_7$.

Ручей $M_7—M_{06}$ прерван под M_6 , поскольку $M_5 > M_7$. Зарегистрирован размах $M_7—M_{06}$.

Ручей $M_8—M_9—M_{09}—M_{11}$ падает на землю. Зарегистрирован размах $M_8—M_{11}$.

Ручей $M_9—M_{10}$ прерван в падении напротив M_{11} , поскольку $M_{11} > M_9$. Зарегистрирован размах $M_9—M_{10}$.

Ручей $M_{10}—M_{09}$ прерван под M_9 , поскольку $M_8 < M_{10}$. Зарегистрирован размах $M_{10}—M_{09}$.

Ручей $M_{11}—M_{12}—M_{012}—M_{20}—M_{020}—M_{22}$ падает на землю. Зарегистрирован размах $M_{11}—M_{22}$.

Ручей $M_{12}—M_{13}—M_{013}—M_{15}$ прерван в падении напротив M_{20} , поскольку $M_{20} < M_{12}$. Зарегистрирован размах $M_{12}—M_{15}$.

Ручей $M_{13}—M_{14}$ прерван в падении напротив M_{15} , поскольку $M_{15} > M_{13}$. Зарегистрирован размах $M_{13}—M_{14}$.

Ручей $M_{14}—M_{013}$ прерван под M_{13} , поскольку $M_{12} < M_{14}$. Зарегистрирован размах $M_{14}—M_{013}$.

Ручей $M_{15}—M_{16}—M_{016}—M_{18}—M_{018}—M_{012}$ прерван под M_{12} , поскольку $M_{11} > M_{15}$. Зарегистрирован размах $M_{15}—M_{012}$.

Ручей $M_{16}—M_{17}$ прерван в падении напротив M_{18} , поскольку $M_{18} < M_{16}$. Зарегистрирован размах $M_{16}—M_{17}$.

Ручей $M_{17}—M_{016}$ прерван под M_{16} , поскольку $M_{15} > M_{17}$. Регистрируется размах $M_{17}—M_{016}$.

Ручей $M_{18}—M_{19}$ прерван в падении напротив M_{20} , поскольку $M_{20} < M_{18}$. Регистрируется размах $M_{18}—M_{19}$.

Ручей $M_{19}—M_{018}$ прерван под M_{18} , поскольку $M_{15} > M_{19}$. Зарегистрирован размах $M_{19}—M_{018}$.

Ручей $M_{20}—M_{21}$ прерван в падении напротив M_{22} , поскольку $M_{22} < M_{20}$. Зарегистрирован размах $M_{20}—M_{21}$.

Ручей $M_{21}—M_{020}$ прерван под M_{20} , поскольку $M_{11} > M_{21}$. Зарегистрирован размах $M_{21}—M_{020}$.

Ручей $M_{22}—M_{23}—M_{023}—M_{25}—M_{025}—M_{33}$ падает на землю. Зарегистрирован размах $M_{22}—M_{33}$.

Ручей $M_{23}—M_{24}$ прерван напротив M_{25} , поскольку $M_{25} > M_{23}$. Зарегистрирован размах $M_{23}—M_{24}$.

Ручей $M_{24}—M_{023}$ прерван под M_{23} , поскольку $M_{22} < M_{24}$. Зарегистрирован размах $M_{24}—M_{023}$.

Ручей $M_{25}—M_{26}—M_{026}—M_{28}—M_{028}—M_{30}$ прерван в падении напротив M_{33} , поскольку $M_{33} > M_{25}$. Зарегистрирован размах $M_{25}—M_{30}$.

Ручей $M_{26}—M_{27}$ прерван в падении напротив M_{28} , поскольку $M_{28} < M_{26}$. Зарегистрирован размах $M_{26}—M_{27}$.

Ручей $M_{27}—M_{026}$ прерван под M_{26} , поскольку $M_{25} > M_{27}$. Зарегистрирован размах $M_{27}—M_{026}$.

Ручей $M_{28}—M_{29}$ прерван в падении напротив M_{30} , поскольку $M_{30} < M_{28}$. Зарегистрирован размах $M_{28}—M_{29}$.

Ручей $M_{29}—M_{028}$ прерван под M_{28} , поскольку $M_{25} > M_{29}$. Зарегистрирован размах $M_{29}—M_{028}$.

Ручей $M_{30}—M_{31}—M_{031}—M_{025}$ прерван под M_{25} , поскольку $M_{22} < M_{30}$. Зарегистрирован размах $M_{30}—M_{025}$.

Ручей $M_{31}—M_{32}$ прерван в падении напротив M_{33} , поскольку $M_{33} > M_{31}$. Зарегистрирован размах $M_{31}—M_{32}$.

Ручей $M_{32}—M_{031}$ прерван под M_{31} , поскольку $M_{30} < M_{32}$. Зарегистрирован размах $M_{32}—M_{031}$.

Ручей $M_{33}—M_{34}—M_{034}—M_{36}—M_{036}—M_{38}$ падает на землю. Регистрируется размах $M_{33}—M_{38}$.

Ручей $M_{34}—M_{35}$ прерван в падении напротив M_{36} , поскольку $M_{36} < M_{34}$. Зарегистрирован размах $M_{34}—M_{35}$.

Ручей $M_{35}—M_{034}$ прерван под M_{34} , поскольку максимум $M_{33} > M_{35}$. Зарегистрирован размах $M_{35}—M_{034}$.

Ручей $M_{36}—M_{37}$ прерван в падении напротив M_{38} , поскольку $M_{38} < M_{36}$. Зарегистрирован размах $M_{36}—M_{37}$.

Ручей $M_{37}—M_{036}$ прерван под M_{36} , поскольку $M_{33} > M_{37}$. Зарегистрирован размах $M_{37}—M_{036}$.

Результаты исследования

Компьютерная программа для цифровой обработки осциллограммы двухпараметрическими методами написана в среде MathCAD.

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

$$M := \begin{pmatrix} 2 \\ -5 \\ 90 \\ 22 \\ 32 \\ 23 \\ 82 \\ 19 \\ 80 \\ 30 \\ 68 \\ 37 \\ 60 \\ 38 \\ 58 \\ 39 \\ 56 \\ 42 \\ 55 \\ 47 \end{pmatrix}$$

При помощи встроенной в MathCAD статистической функции mean вычислено среднеарифметическое значение экстремумов:

$$M_{\text{cp}} := \text{mean}(M)$$

$$M_{\text{cp}} = 44$$

Введена индексация от 1 до 20:

$$\text{индекс} := 1..20$$

Построена диаграмма экстремумов M_1, M_2, \dots, M_{20} (рис. 11).

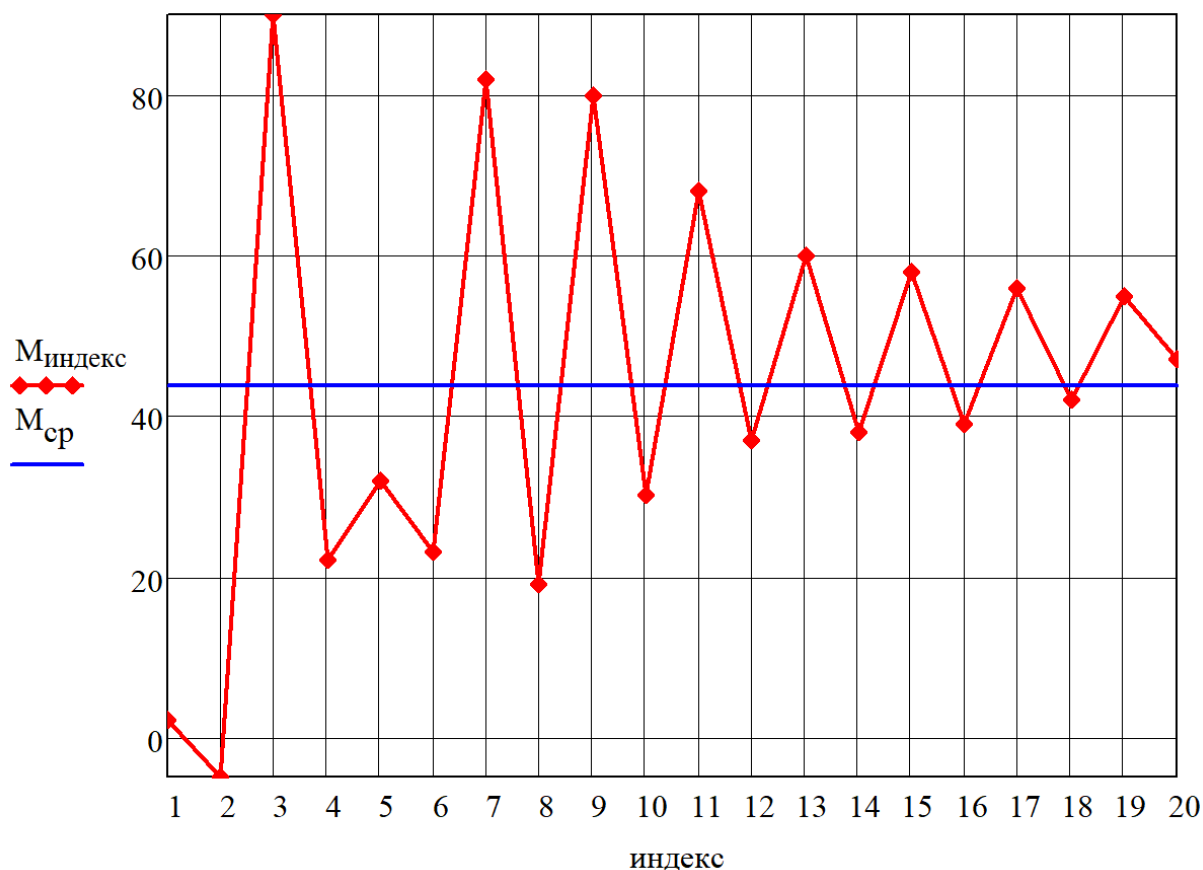


Рисунок 11. Диаграмма экстремумов $M_{\text{индекс}}$ [кН·м]:

$M_{\text{ср}} = 44$ – среднеарифметическое значение экстремумов [кН·м]

Визуально обнаружено 15 точек пересечения графиков $M_{\text{индекс}}$ и $M_{\text{ср}}$.

Вычислен коэффициент нерегулярности процесса нагружения

$$\chi := \frac{15}{20}$$

$$\chi = 0.75$$

Вывод: поскольку $0,5 < \chi \leq 1$, допустимо использовать для обработки осциллограммы все методы двухпараметрической схематизации.

Результаты теста 1 – двухпараметрический метод размахов

Построены вектор-столбец амплитуд M_a и вектор-столбец средних значений M_m полуциклов нагружения шпинделя крутящим моментом:

$$M_a := \frac{\begin{bmatrix} |2 - (-5)| \\ |(-5) - 90| \\ |90 - 22| \\ |22 - 32| \\ |32 - 23| \\ |23 - 82| \\ |82 - 19| \\ |19 - 80| \\ |80 - 30| \\ |30 - 68| \\ |68 - 37| \\ |37 - 60| \\ |60 - 38| \\ |38 - 58| \\ |58 - 39| \\ |39 - 56| \\ |56 - 42| \\ |42 - 55| \\ |55 - 47| \end{bmatrix}}{2}$$

$$M_m := \frac{\begin{bmatrix} 2 + (-5) \\ (-5) + 90 \\ 90 + 22 \\ 22 + 32 \\ 32 + 23 \\ 23 + 82 \\ 82 + 19 \\ 19 + 80 \\ 80 + 30 \\ 30 + 68 \\ 68 + 37 \\ 37 + 60 \\ 60 + 38 \\ 38 + 58 \\ 58 + 39 \\ 39 + 56 \\ 56 + 42 \\ 42 + 55 \\ 55 + 47 \end{bmatrix}}{2}$$

Введена индексация от 1 до 19:

индекс := 1..19

Построены спектр амплитуд и спектр средних значений полуциклов нагружения шпинделя крутящим моментом (рис. 12).

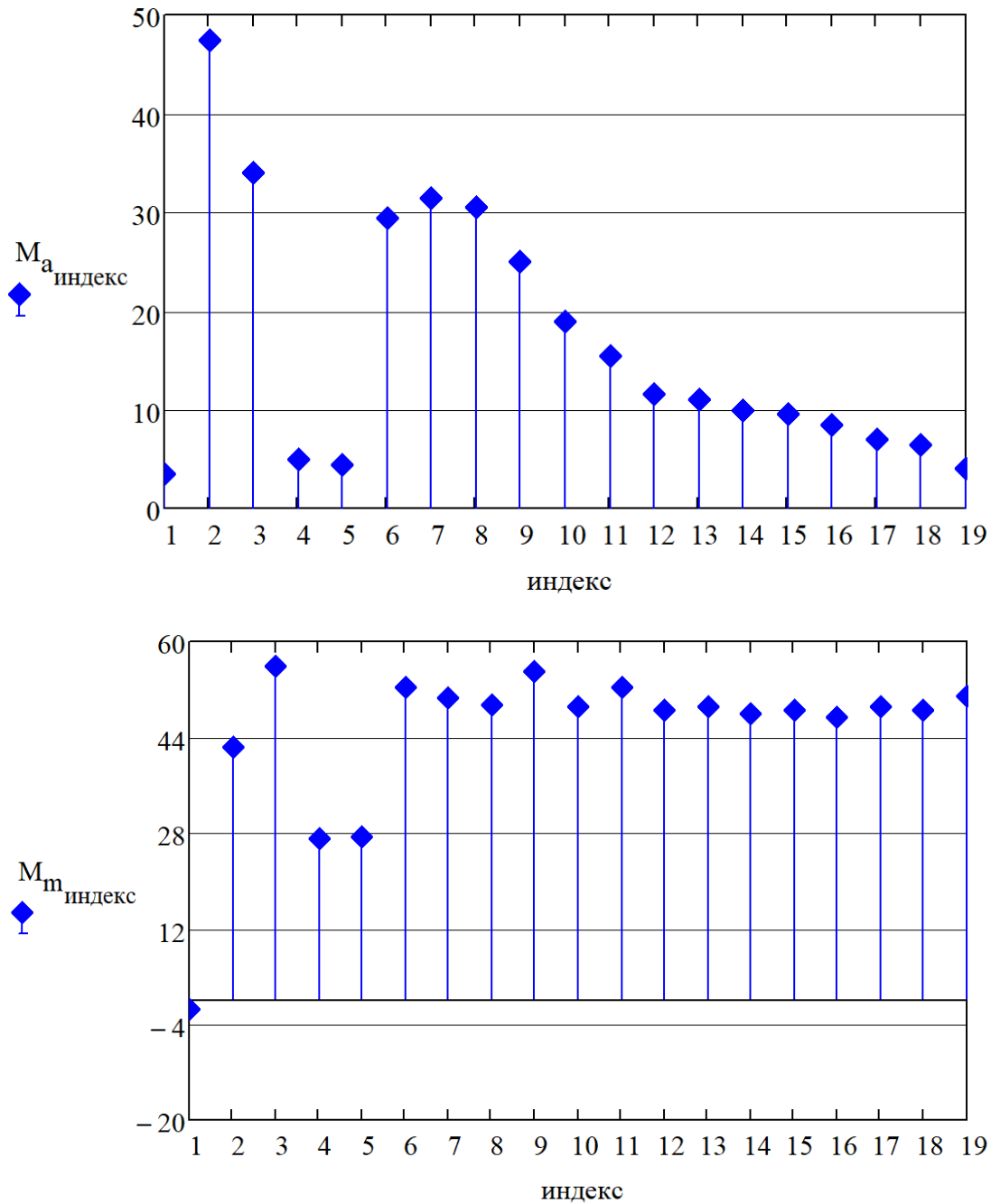


Рисунок 12. Реализация двухпараметрического метода размахов:

$M_{a_индекс}$ – амплитуды полуциклов нагружения [кН·м];

$M_{t_индекс}$ – средние значения полуциклов нагружения [кН·м]

Результаты теста 2 – метод полных циклов

Задана матрица экстремумов – 16 этапов обработки осциллограммы:

M :=

-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	0	0	0	0
-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	0	0	0	0
90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	0	0	0	0
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	47	0	0	0	0
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	47	0	0	0	0
23	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	47	0	0	0	0
82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	47	47	0	0	0
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	47	47	47	0	0	0
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	47	47	47	47	0	0
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	47	47	47	47	47	47	0	0	0
68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	47	47	47	47	47	47	47	0	0
37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	47	47	47	47	47	47	47	47	0	0
60	60	60	60	60	60	60	60	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	0	0
38	38	38	38	38	38	38	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	0	0
58	58	58	58	58	58	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	0	0
39	39	39	39	39	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	0	0
56	56	56	56	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	0	0
42	42	42	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	0	0
55	55	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	0	0
47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	0	0

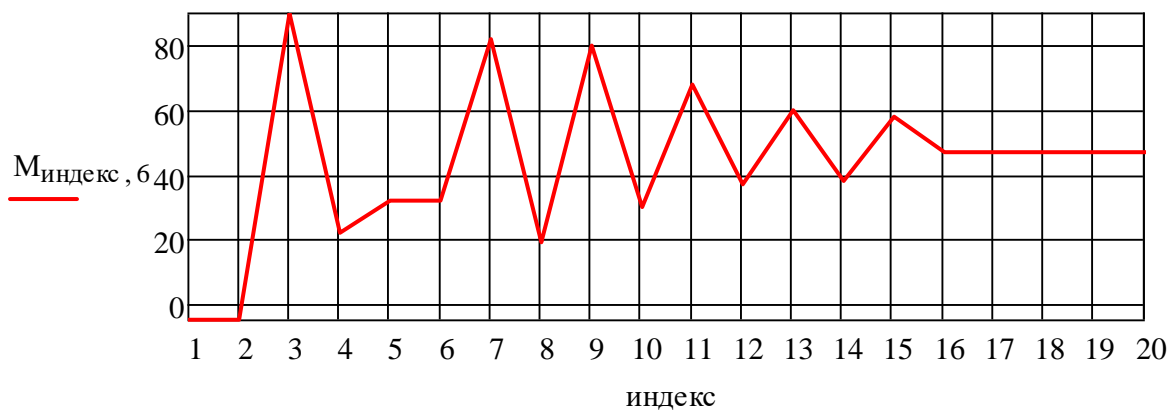
Введена индексация от 1 до 20:

индекс := 1..20

Построены диаграммы экстремумов (рис. 13)









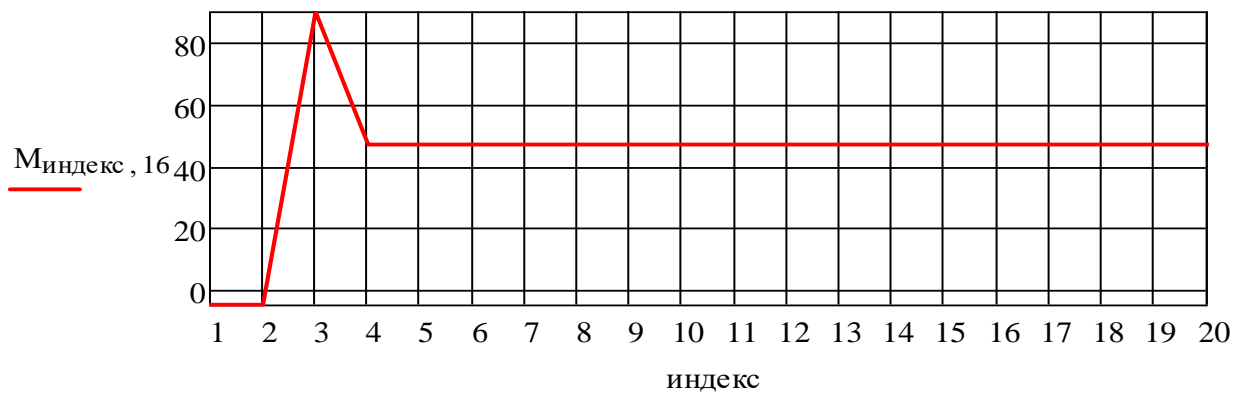
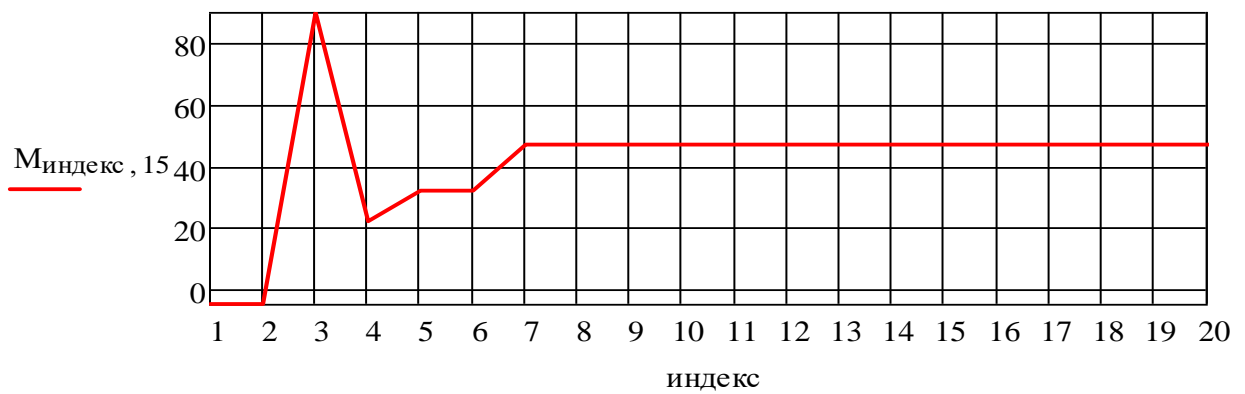


Рисунок 13. Поэтапное выделение полных циклов [кН·м]

Зарегистрированы амплитуды и средние значения полных циклов нагружения:

$$M_a := \frac{\begin{bmatrix} |2 - (-5)| \\ |32 - 23| \\ |55 - 47| \\ |42 - 55| \\ |56 - 42| \\ |39 - 56| \\ |58 - 39| \\ |38 - 58| \\ |60 - 38| \\ |37 - 60| \\ |68 - 37| \\ |30 - 68| \\ |80 - 30| \\ |19 - 80| \\ |82 - 19| \\ |90 - 22| \\ |(-5) - 90| \\ |0 - 0| \\ |0 - 0| \\ |0 - 0| \end{bmatrix}}{2} \quad M_m := \frac{\begin{bmatrix} 2 + (-5) \\ 32 + 23 \\ 55 + 47 \\ 42 + 55 \\ 56 + 42 \\ 39 + 56 \\ 58 + 39 \\ 38 + 58 \\ 60 + 38 \\ 37 + 60 \\ 68 + 37 \\ 30 + 68 \\ 80 + 30 \\ 19 + 80 \\ 82 + 19 \\ 90 + 22 \\ (-5) + 90 \\ 0 + 0 \\ 0 + 0 \\ 0 + 0 \end{bmatrix}}{2}$$

Введена индексация от 1 до 17:

индекс := 1..17

Построены спектр амплитуд и спектр средних значений циклов нагружения шпинделя крутящим моментом (рис. 14).

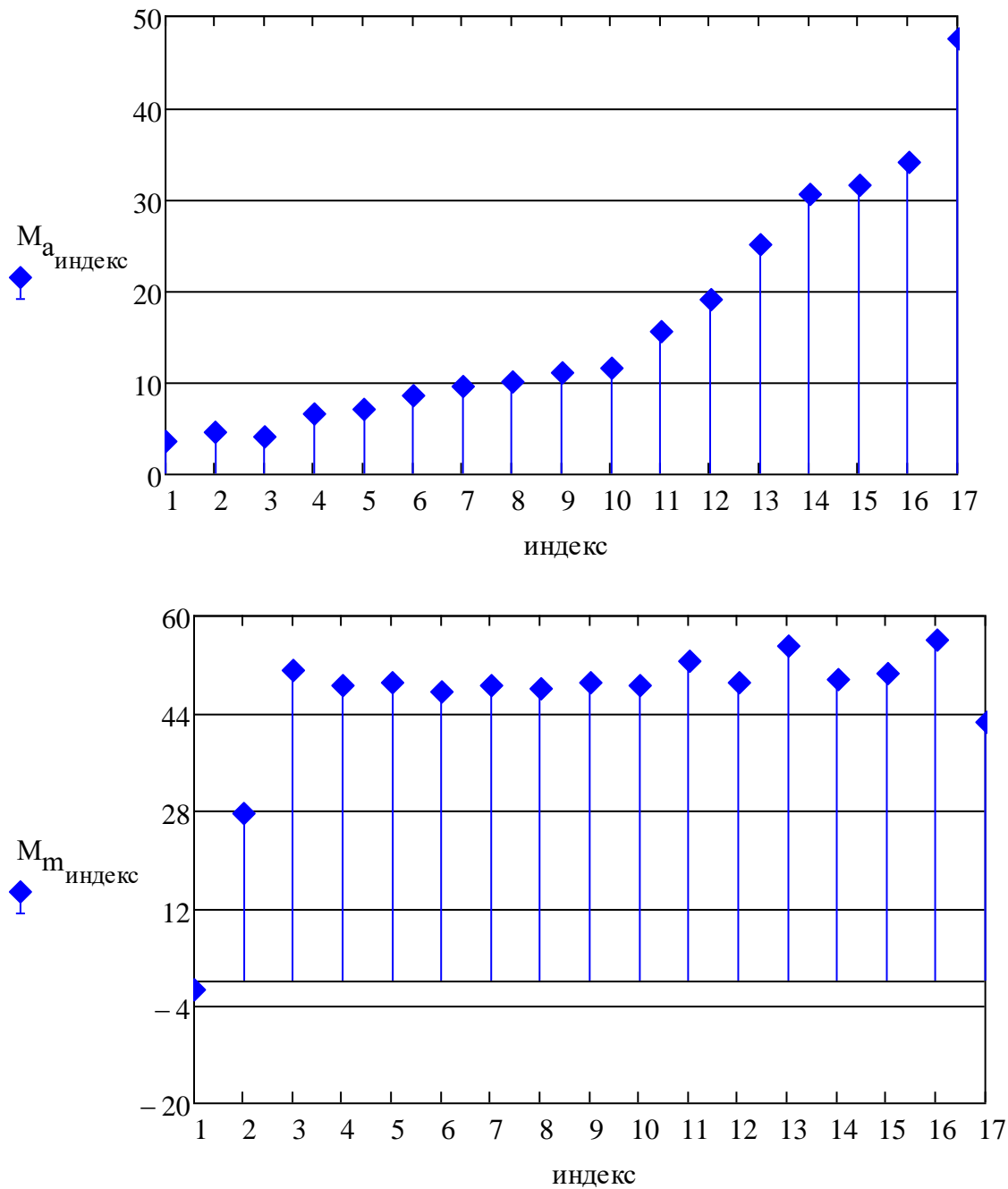


Рисунок 14. Реализация метода полных циклов:

$M_{a_индекс}$ – амплитуды циклов нагружения [кН·м];

$M_{t_индекс}$ – средние значения циклов нагружения [кН·м]

Результаты теста 3 – метод «дождя»

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

$$M := \begin{pmatrix} 2 \\ -5 \\ 90 \\ 22 \\ 32 \\ 23 \\ 82 \\ 19 \\ 80 \\ 30 \\ 68 \\ 37 \\ 60 \\ 38 \\ 58 \\ 39 \\ 56 \\ 42 \\ 55 \\ 47 \end{pmatrix}$$

Введена индексация от 1 до 20:

индекс := 1..20

Построена диаграмма экстремумов M_1, M_2, \dots, M_{20} (рис. 15).

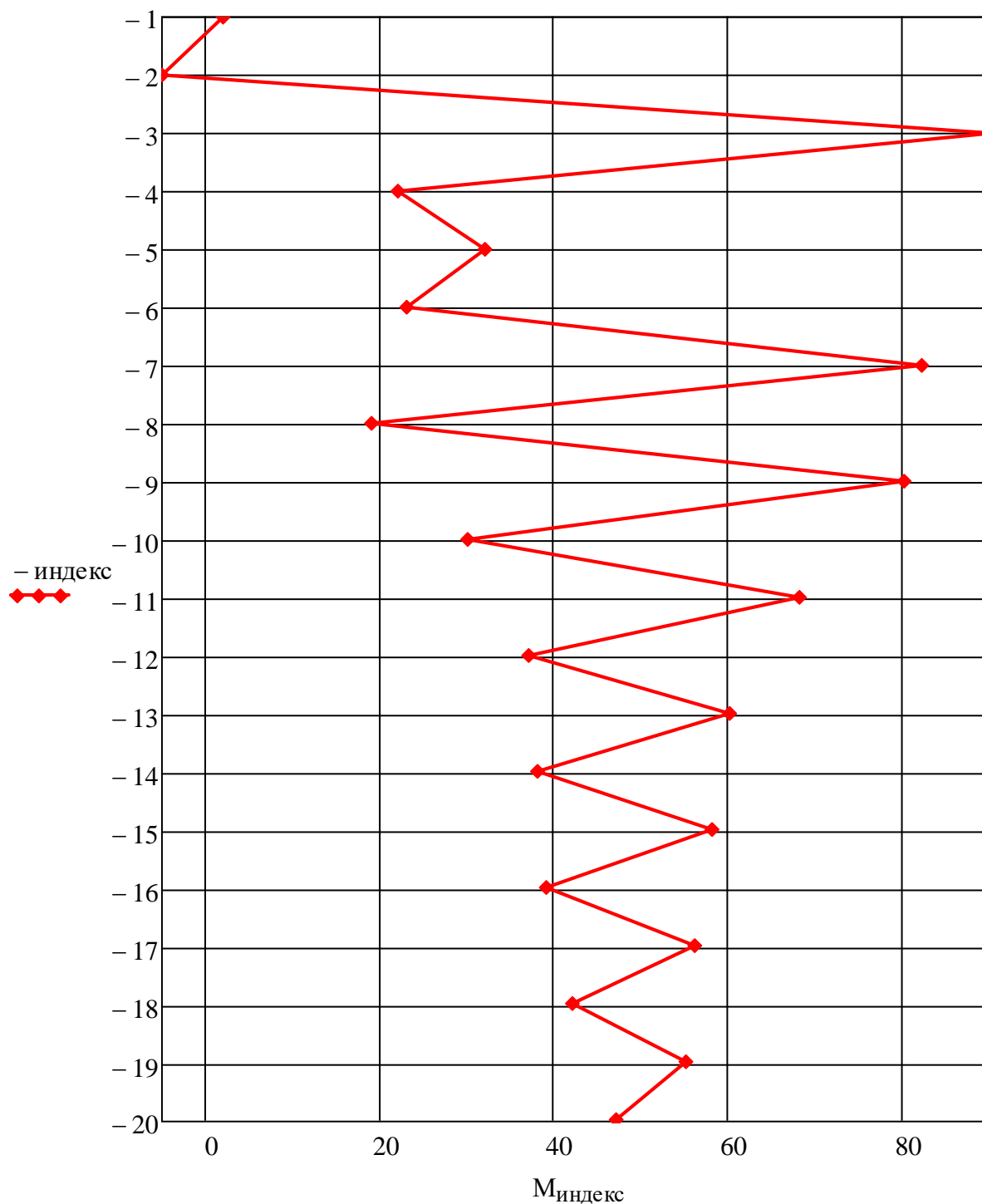


Рисунок 15. Диаграмма экстремумов $M_{индекс}$ [кН·м]

Зарегистрированы амплитуды и средние значения размахов:

$$M_a := \frac{\begin{bmatrix} |2 - (-5)| \\ |(-5) - 90| \\ |90 - 19| \\ |22 - 82| \\ |32 - 23| \\ |23 - 32| \\ |82 - 23| \\ |19 - 80| \\ |80 - 30| \\ |30 - 68| \\ |68 - 39| \\ |37 - 60| \\ |60 - 37| \\ |38 - 58| \\ |58 - 38| \\ |39 - 56| \\ |56 - 42| \\ |42 - 55| \\ |55 - 47| \\ |0 - 0| \end{bmatrix}}{2} \quad M_m := \frac{\begin{bmatrix} 2 + (-5) \\ (-5) + 90 \\ 90 + 19 \\ 22 + 82 \\ 32 + 23 \\ 23 + 32 \\ 82 + 23 \\ 19 + 80 \\ 80 + 30 \\ 30 + 68 \\ 68 + 39 \\ 37 + 60 \\ 60 + 37 \\ 38 + 58 \\ 58 + 38 \\ 39 + 56 \\ 56 + 42 \\ 42 + 55 \\ 55 + 47 \\ 0 + 0 \end{bmatrix}}{2}$$

Введена индексация от 1 до 19:

индекс := 1..19

Построены спектр амплитуд и спектр средних значений полуциклов нагружения шпинделя крутящим моментом (рис. 16).

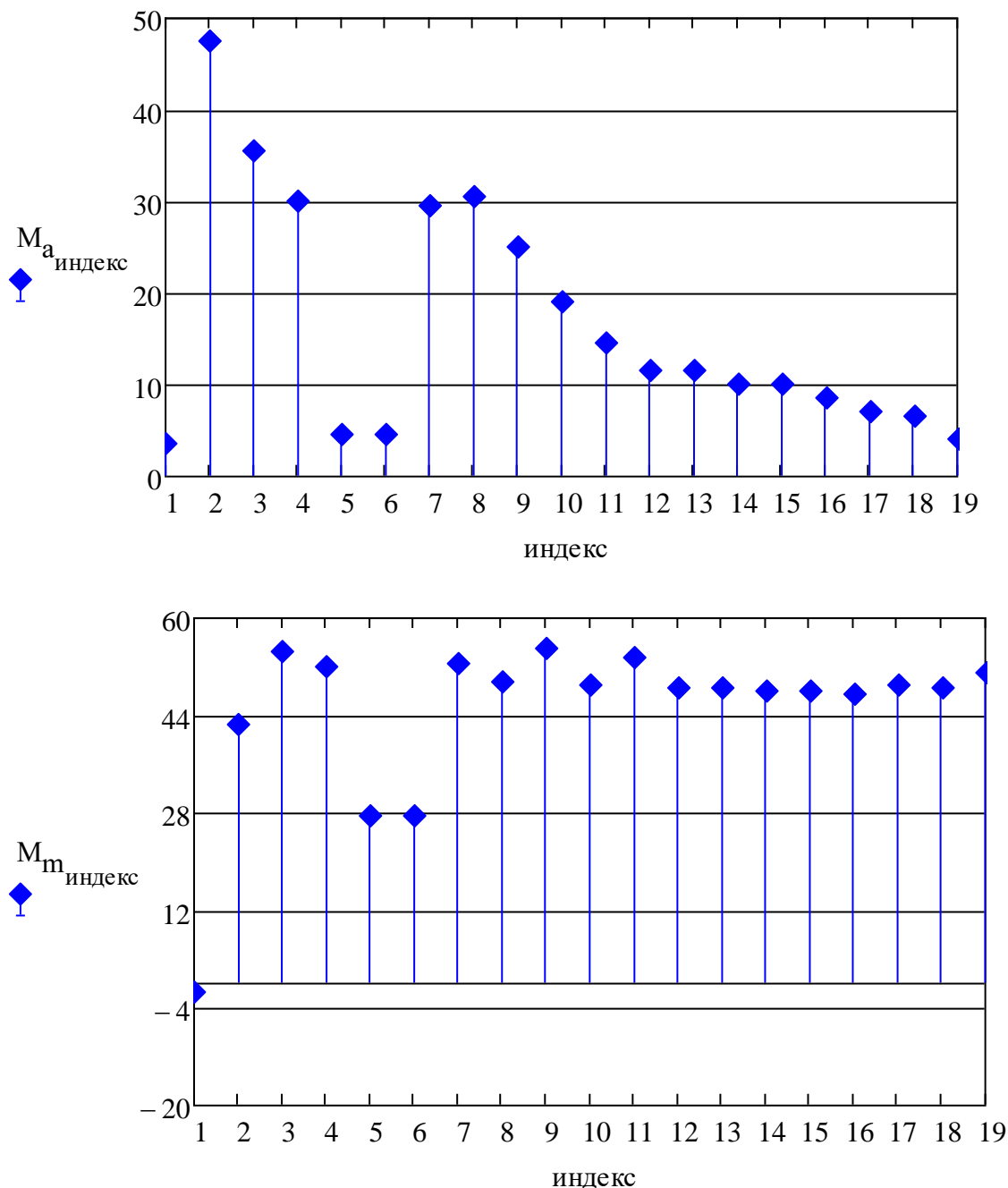


Рисунок 16. Реализация метода «дождя»:

$M_{a_{индекс}}$ – амплитуды полуциклов нагружения [кН·м];

$M_{m_{индекс}}$ – средние значения полуциклов нагружения [кН·м]

Заключение

Обработана осциллограмма крутильных колебаний, возникающих в шпинделе электропривода рабочих валков черновой клетки широкополосного стана 1700, с выявлением спектров амплитуд и средних значений циклов (полуциклов) нагрузки следующими тремя способами:

тест 1 – обработка двухпараметрическим методом размахов;

тест 2 – обработка методом полных циклов;
тест 3 – обработка методом «дождя» [3].

Найденные амплитуды и средние значения полуциклов и циклов нагрузки будут учтены автором в будущем при выполнении прочностного расчета шпинделя.

Список литературы

1. Иванченко Ф.К., Красношарпа В.А. Динамика металлургических машин. – Москва: Металлургия, 1983. – 295 с.
2. Мальцев А.А., Тарасенко И.А. Цифровая обработка осциллограммы крутильных колебаний однопараметрическими методами. – [Электронный ресурс] Оригинальные исследования (ОРИС). 2022. Т.12, №2. С.121–135. – Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2022-oris-2-2022/a230522>
3. Мальцев А.А. Реализация в среде MathCAD метода «дождя» на примере осциллограммы крутильных колебаний электропривода металлургической машины. – [Электронный ресурс] Оригинальные исследования (ОРИС). 2019. Т.9, №11. С.40–47. – Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2019-oris-11-2019/a229827>

References

1. F.K. Ivanchenko, V.A. Krasnoshapka. Dynamics of metallurgical machines. – Moscow: Metallurgy, 1983. – 295 p.
2. A.A. Maltsev, I.A. Tarasenko. Digital processing of the torsional oscillogram by one-parameter method. – [Electronic resource] Original research (ORIS). 2022. Vol.12, No2. P.121–135. – Access mode: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2022-oris-2-2022/a230522>
3. A.A. Maltsev. Implementation of the "rain" method in the MathCAD environment on the example of the torsional oscillogram of the electric drive of a metallurgical machine. – [Electronic resource] Original research (ORIS). 2019. Vol.9, No11. P.40–47. – Access mode: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2019-oris-11-2019/a229827>