

УДК 621.771

**РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ВТОРОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОДИН МО»****Андрей Анатольевич Мальцев**доцент кафедр ФН-7 и МТ-10 МГТУ им Н.Э. Баумана
e-mail: a.a.mal@bmstu.ru**Юрий Иванович Беляков**доцент кафедры ФН-7 МГТУ им Н.Э. Баумана
e-mail: belpmm@mail.ru**Аннотация**

Проанализирован план выполнения в компьютерном классе лабораторной работы на тему «Обработка осциллограммы крутильных колебаний однопараметрическими и двухпараметрическими методами» по учебной дисциплине «Основы динамики и надежности металлургического оборудования» студентами, обучающимися по специальности «Проектирование технологических машин и комплексов».

Ключевые слова: лабораторная работа, осциллограмма, крутильные колебания.

**DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF THE SECOND VIRTUAL
LABORATORY WORK ON THE DISCIPLINE "ОДИН МО"****Andrey A. Maltsev**associate professor of BMSTU ФН-7 and МТ-10 departments
e-mail: a.a.mal@bmstu.ru**Yuri I. Belyakov**associate professor of BMSTU ФН-7 department
e-mail: belpmm@mail.ru**ABSTRACT**

The plan of execution of laboratory work in the computer class on the top-ic "Processing of the torsional oscillogram by one-parameter and two-parameter methods" in the academic discipline "Fundamentals of dynamics and reliability of metallurgical equipment" by students studying in the specialty "Design of techno-logical machines and complexes" is analyzed.

Keywords: laboratory work, oscillogram, torsional oscillations.

Актуальность и цель исследования

Многие электроприводы технологических машин и комплексов испытывают существенные динамические перегрузки, вызывающие повышенный износ узлов трения и приводящие к усталостному разрушению деталей. Выход из строя деталей электроприводов в большинстве случаев влечет за собой убытки, связанные не только с дороговизной и трудоемкостью ремонтных работ, но и с потерями от вынужденного простоя. Натурный эксперимент в заводских условиях на работающем металлопрокатном стане, представляющий собой тензометрические испытания с последующей обработкой полученных осциллограмм, позволяет получить наиболее точную информацию о степени нагружения детали.

Цель исследования – разработка методических указаний к выполнению второй лабораторной работы по учебной дисциплине «Основы динамики и надежности металлургического оборудования (ОДиН МО)» на тему «Обработка осциллограммы крутильных колебаний однопараметрическими [1] и двухпараметрическими [2] методами», направленных на формирование у студентов кафедры МТ-10 «Оборудование и технологии прокатки» профессиональной компетенции с формулировкой «Способность использовать современные методы моделирования, исследования и расчетов технологических комплексов в металлургическом производстве».

Рабочей программой дисциплины «ОДиН МО» по специальности «Проектирование технологических машин и комплексов» предусмотрено выполнение следующих четырех лабораторных работ: «Моделирование крутильных колебаний электропривода рабочих валков прокатного стана», «Обработка осциллограммы крутильных колебаний с выявлением амплитудных и средних значений циклов нагрузки», «Исследование характеристик сопротивления усталости опасного сечения рабочего валка» и «Вероятностное прогнозирование циклического ресурса опасного сечения рабочего валка». Уже разработана концепция первой виртуальной лабораторной работы [3], которую планируется ввести в состав будущего электронного учебника по дисциплине «ОДиН МО» [4].

Материалы и методы исследования

Объект исследования – осциллограмма крутильных колебаний (рис. 1).

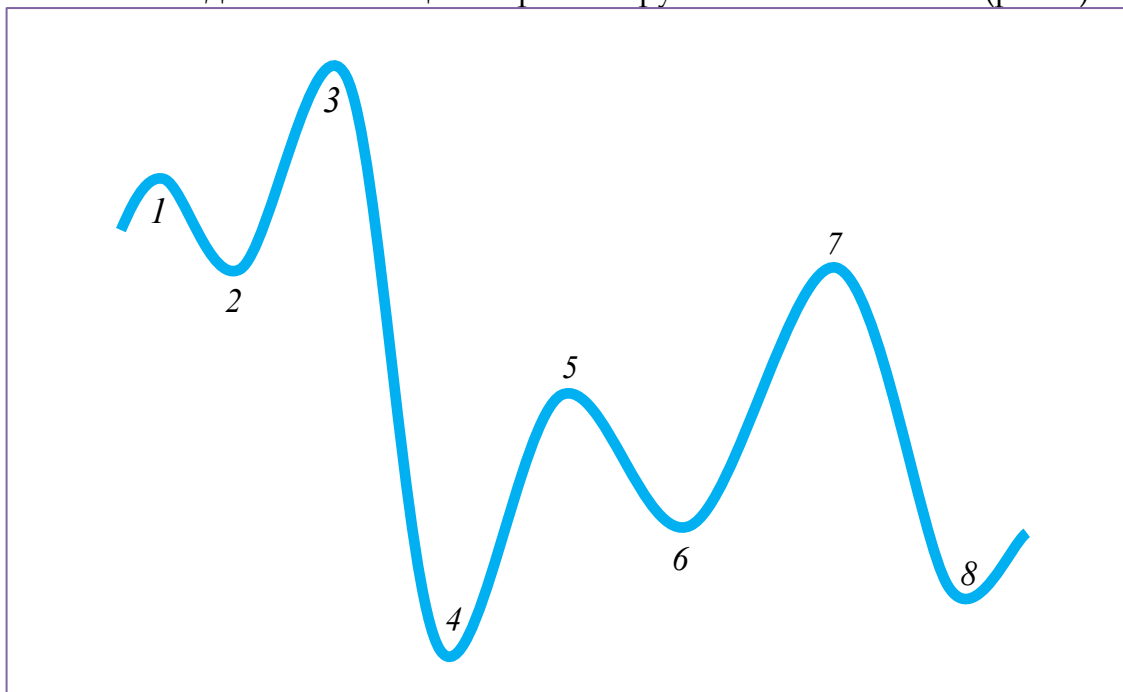


Рис. 1. Фрагмент осциллограммы:

- 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – экстремумы;
 1, 3, 5, 7 – максимумы;
 2, 4, 6, 8 – минимумы;
 3 – глобальный максимум;
 4 – глобальный минимум;
 1, 5, 7 – локальные максимумы;
 2, 6, 8 – локальные минимумы;
 2-3, 4-5, 6-7 – восходящие размахи;
 1-2, 3-4, 5-6, 7-8 – нисходящие размахи

Исходные данные – величины экстремумов на осциллограмме, номер варианта будет соответствовать порядковому номеру студента в списке группы (табл. 1).

Таблица 1

Численные значения экстремумов

Вариант	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9	M_{10}
	кН·м									
1	10	-20	80	-10	60	20	40	30	40	20
2	-10	90	0	80	10	20	10	70	30	60
3	10	90	-10	70	30	70	60	70	20	40
4	10	90	-10	80	10	70	20	60	30	40
5	-20	80	-10	10	-20	60	30	40	20	60

Предполагаемый порядок выполнения студентами лабораторной работы следующий:

- опыт 1 – обработать осциллограмму методом экстремумов;
- опыт 2 – обработать осциллограмму методом максимумов;
- опыт 3 – обработать осциллограмму методом минимумов;
- опыт 4 – обработать осциллограмму методом размахов;
- опыт 5 – обработать осциллограмму методом полных циклов.

При обработке осциллограммы вышеперечисленными однопараметрическими и двухпараметрическими методами студенты будут стараться придерживаться порядка, установленного в ГОСТ 25.101-83 «Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов».

Результаты обработки осциллограммы методом экстремумов

По исходным данным (вариант 1) построена осциллограмма крутильных колебаний (рис. 2):

$$M := \begin{pmatrix} 10 \\ -20 \\ 80 \\ -10 \\ 60 \\ 20 \\ 40 \\ 30 \\ 40 \\ 20 \end{pmatrix}$$

индекс := 1 .. 10

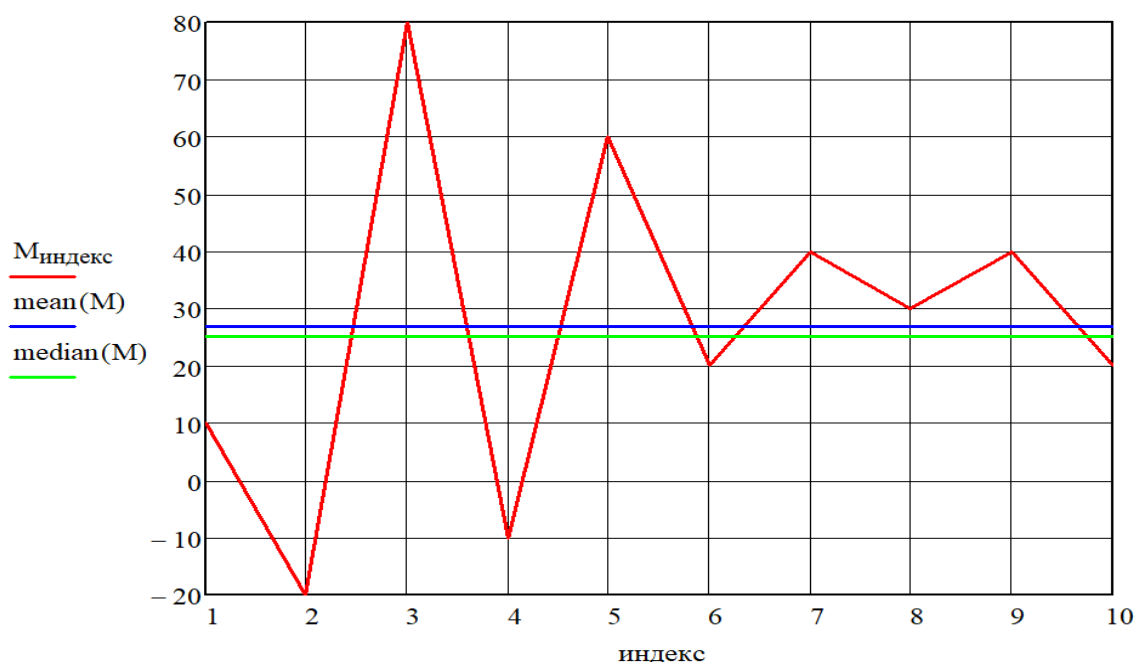


Рисунок 2. Визуализация применения метода экстремумов:

$M_{\text{индекс}}$ – величины экстремумов моментов;

$\text{mean}(M)$ – среднее арифметическое значение экстремумов;

$\text{median}(M)$ – медиана экстремумов

Вычислен коэффициент нерегулярности процесса нагружения как отношение числа точек пересечения уровня $\text{mean}(M)$ с осциллограммой (6 точек) к числу экстремумов на осциллограмме (10 экстремумов):

$$\chi := \frac{6}{10} = 0.6$$

Поскольку соблюдается условие $0,5 \leq \chi \leq 1$, ГОСТом разрешено применение метода экстремумов для обработки осциллограммы.

Найдены положительные максимумы, расположенные выше уровня $\text{median}(M)$, численные значения которых 80, 60, 40, 40 [кН·м].

Найдены отрицательные минимумы, расположенные ниже уровня median (M), численные значения которых -20, -10, 20, 20 [кН·м].

Зарегистрированы амплитуды полуциклов нагружения:

$$\text{амплитуды} := \begin{pmatrix} |80 - \text{median}(M)| \\ |60 - \text{median}(M)| \\ |40 - \text{median}(M)| \\ |40 - \text{median}(M)| \\ |-20 - \text{median}(M)| \\ |-10 - \text{median}(M)| \\ |20 - \text{median}(M)| \\ |20 - \text{median}(M)| \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 55 \\ 35 \\ 15 \\ 15 \\ 45 \\ 35 \\ 5 \\ 5 \end{pmatrix}$$

Результаты обработки осциллограммы методом максимумов

По исходным данным (вариант 2) построена осциллограмма крутильных колебаний (рис. 3):

$$M := \begin{pmatrix} -10 \\ 90 \\ 0 \\ 80 \\ 10 \\ 20 \\ 10 \\ 70 \\ 30 \\ 60 \end{pmatrix}$$

индекс := 1 .. 10

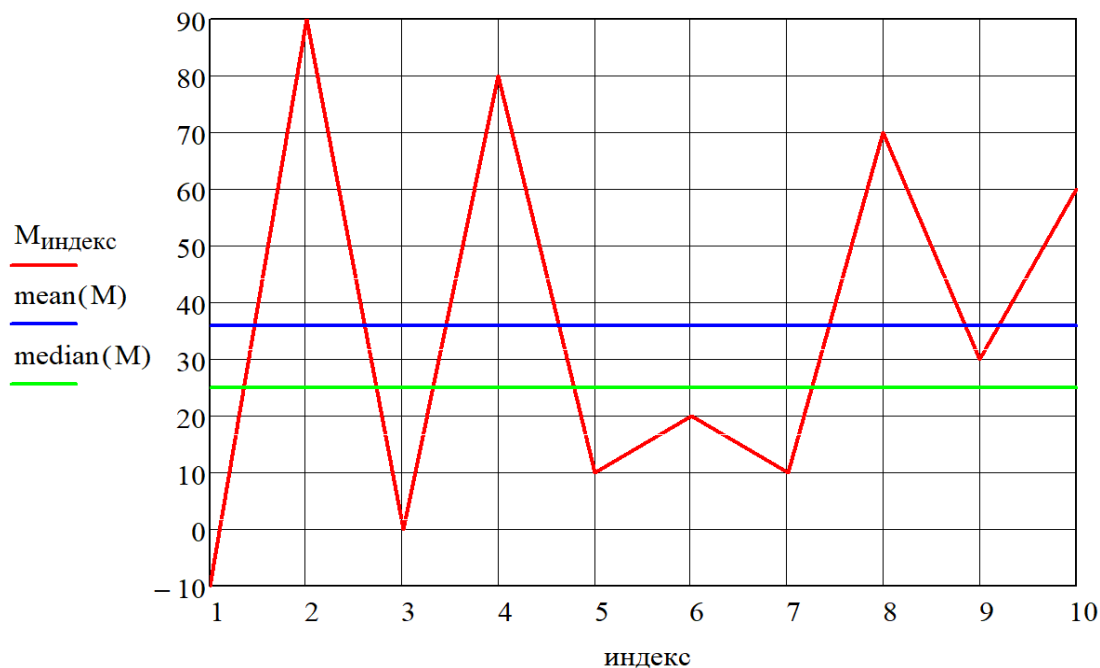


Рисунок 3. Визуализация применения метода максимумов:

М_{индекс} — величины экстремумов моментов;

mean (M) — среднее арифметическое значение экстремумов;

median (M) — медиана экстремумов

Вычислен коэффициент нерегулярности процесса нагружения:

$$\chi := \frac{7}{10} = 0.7$$

Поскольку соблюдается условие $0,5 \leq \chi \leq 1$, ГОСТом разрешено применение метода максимумов для обработки осциллограммы.

Найдены положительные максимумы, расположенные выше уровня median (M), численные значения которых 90, 80, 70, 60 [кН·м].

Зарегистрированы амплитуды циклов нагружения:

$$\text{амплитуды} := \begin{pmatrix} 90 - \text{median}(M) \\ 80 - \text{median}(M) \\ 70 - \text{median}(M) \\ 60 - \text{median}(M) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 65 \\ 55 \\ 45 \\ 35 \end{pmatrix}$$

Результаты обработки осциллограммы методом минимумов

По исходным данным (вариант 3) построена осциллограмма крутильных колебаний (рис. 4):

$M :=$

10
90
-10
70
30
70
60
70
20
40

индекс := 1..10

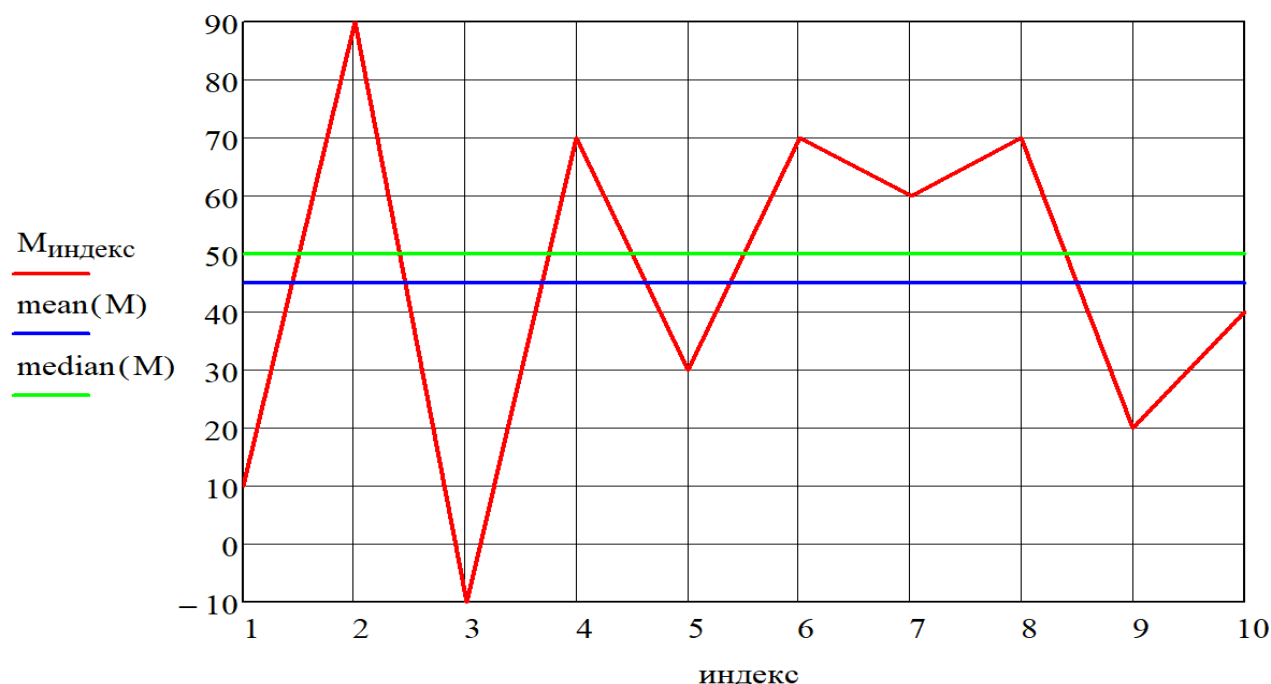


Рисунок 4. Визуализация применения метода минимумов:

$M_{индекс}$ – величины экстремумов моментов;

$mean(M)$ – среднее арифметическое значение экстремумов;

$median(M)$ – медиана экстремумов

Вычислен коэффициент нерегулярности процесса нагружения:

$$\chi := \frac{6}{10} = 0.6$$

Поскольку соблюдается условие $0,5 \leq \chi \leq 1$, ГОСТом разрешено применение метода минимумов для обработки осциллограммы.

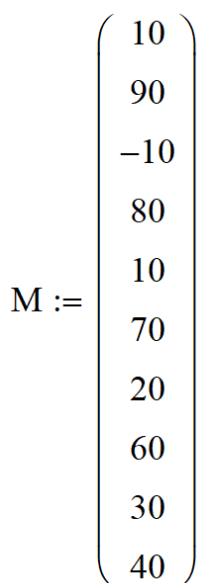
Найдены отрицательные минимумы, расположенные ниже уровня $median(M)$, численные значения которых 10, -10, 30, 20 [кН·м].

Зарегистрированы амплитуды циклов нагружения:

$$\text{амплитуды} := \begin{bmatrix} \text{median}(M) - 10 \\ \text{median}(M) - (-10) \\ \text{median}(M) - 30 \\ \text{median}(M) - 20 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 40 \\ 60 \\ 20 \\ 30 \end{pmatrix}$$

Результаты обработки осциллограммы методом размахов

По исходным данным (вариант 4) построена осциллограмма крутильных колебаний (рис. 5):



индекс := 1 .. 10

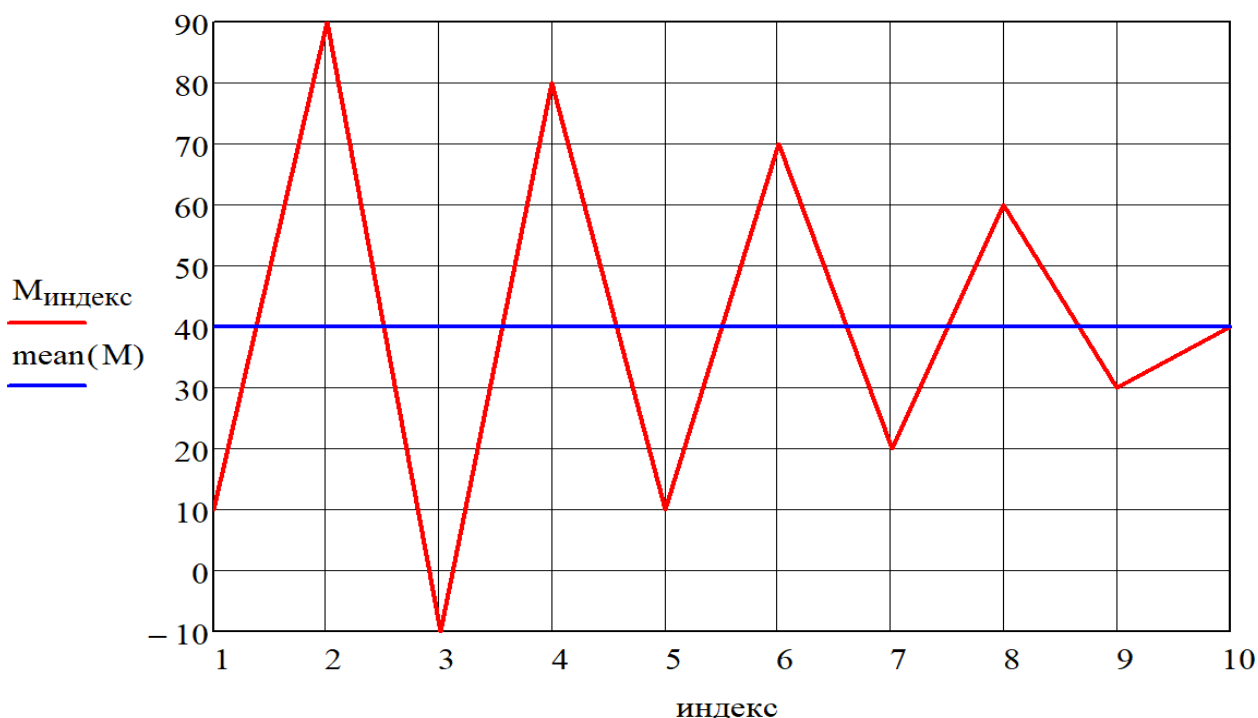


Рисунок 5. Визуализация применения метода размахов:
 Миндекс – величины экстремумов моментов;

$\text{mean}(M)$ – среднее арифметическое значение экстремумов

Вычислен коэффициент нерегулярности процесса нагружения:

$$\chi := \frac{9}{10} = 0.9$$

Поскольку соблюдается условие $0,8 \leq \chi \leq 1$, ГОСТом разрешено применение однопараметрического метода размахов для обработки осциллограммы.

Зарегистрированы амплитуды размахов (полуциклов нагружения):

$$\text{амплитуды} := \frac{\begin{bmatrix} |10 - 90| \\ |90 - (-10)| \\ |-10 - 80| \\ |80 - 10| \\ |10 - 70| \\ |70 - 20| \\ |20 - 60| \\ |60 - 30| \\ |30 - 40| \end{bmatrix}}{2} = \begin{pmatrix} 40 \\ 50 \\ 45 \\ 35 \\ 30 \\ 25 \\ 20 \\ 15 \\ 5 \end{pmatrix}$$

Для обработки осциллограммы ГОСТом разрешено также применение двухпараметрического метода размахов, поскольку $0,5 \leq \chi \leq 1$.

Двухпараметрический метод размахов аналогичен однопараметрическому с той лишь разницей, что регистрации подлежат не только амплитуды, но и средние значения размахов:

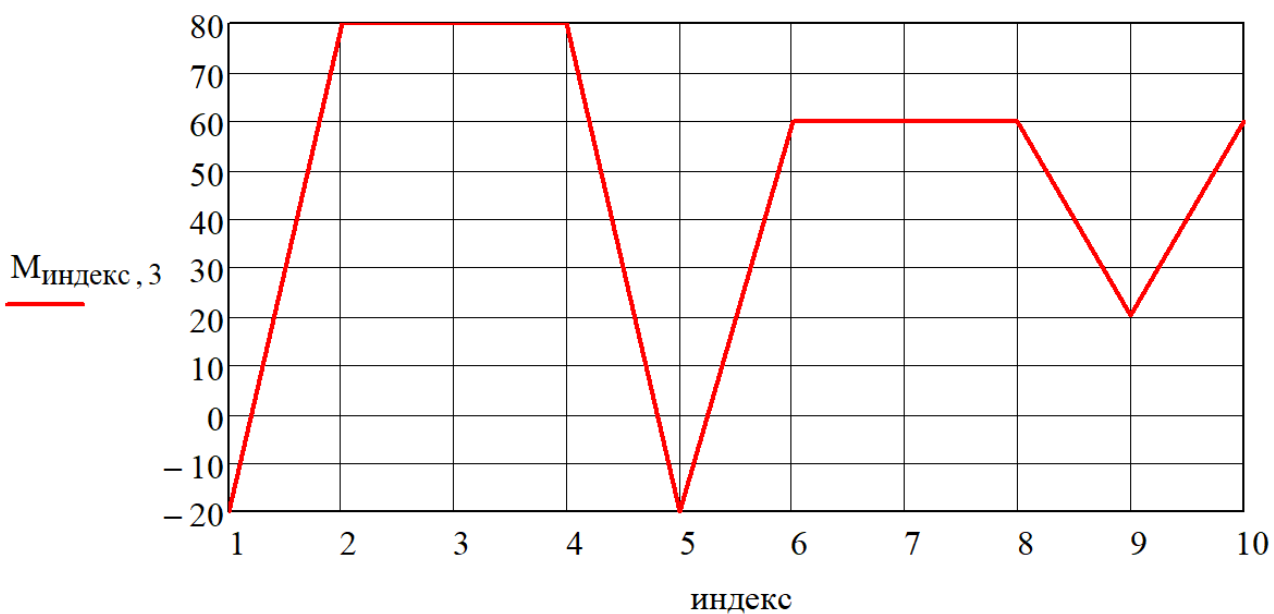
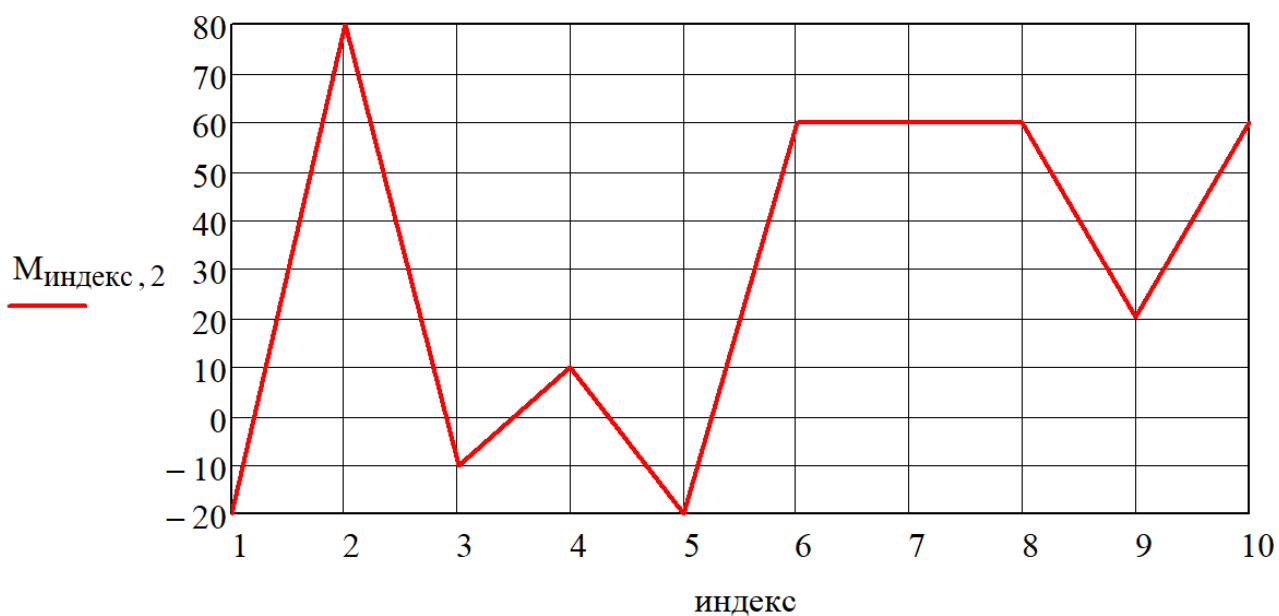
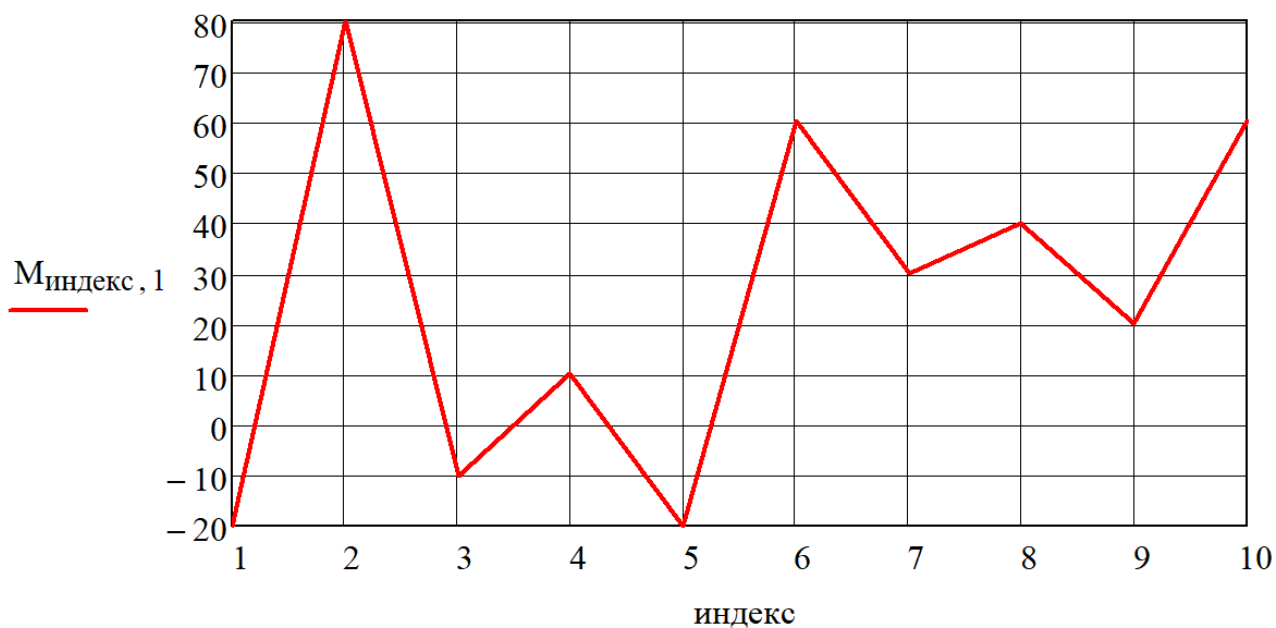
$$\text{средние} := \frac{\begin{bmatrix} |10 + 90| \\ |90 + (-10)| \\ |-10 + 80| \\ |80 + 10| \\ |10 + 70| \\ |70 + 20| \\ |20 + 60| \\ |60 + 30| \\ |30 + 40| \end{bmatrix}}{2} = \begin{pmatrix} 50 \\ 40 \\ 35 \\ 45 \\ 40 \\ 45 \\ 40 \\ 45 \\ 35 \end{pmatrix}$$

Результаты обработки осциллограммы методом полных циклов

По исходным данным (вариант 5) построена осциллограмма крутильных колебаний (рис. 6):

$$M := \begin{pmatrix} -20 & -20 & -20 & -20 & -20 \\ 80 & 80 & 80 & 80 & 80 \\ -10 & -10 & 80 & 80 & 80 \\ 10 & 10 & 80 & 80 & 80 \\ -20 & -20 & -20 & -20 & 80 \\ 60 & 60 & 60 & 60 & 60 \\ 30 & 60 & 60 & 60 & 60 \\ 40 & 60 & 60 & 60 & 60 \\ 20 & 20 & 20 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 60 & 60 & 60 \end{pmatrix}$$

индекс := 1 .. 10



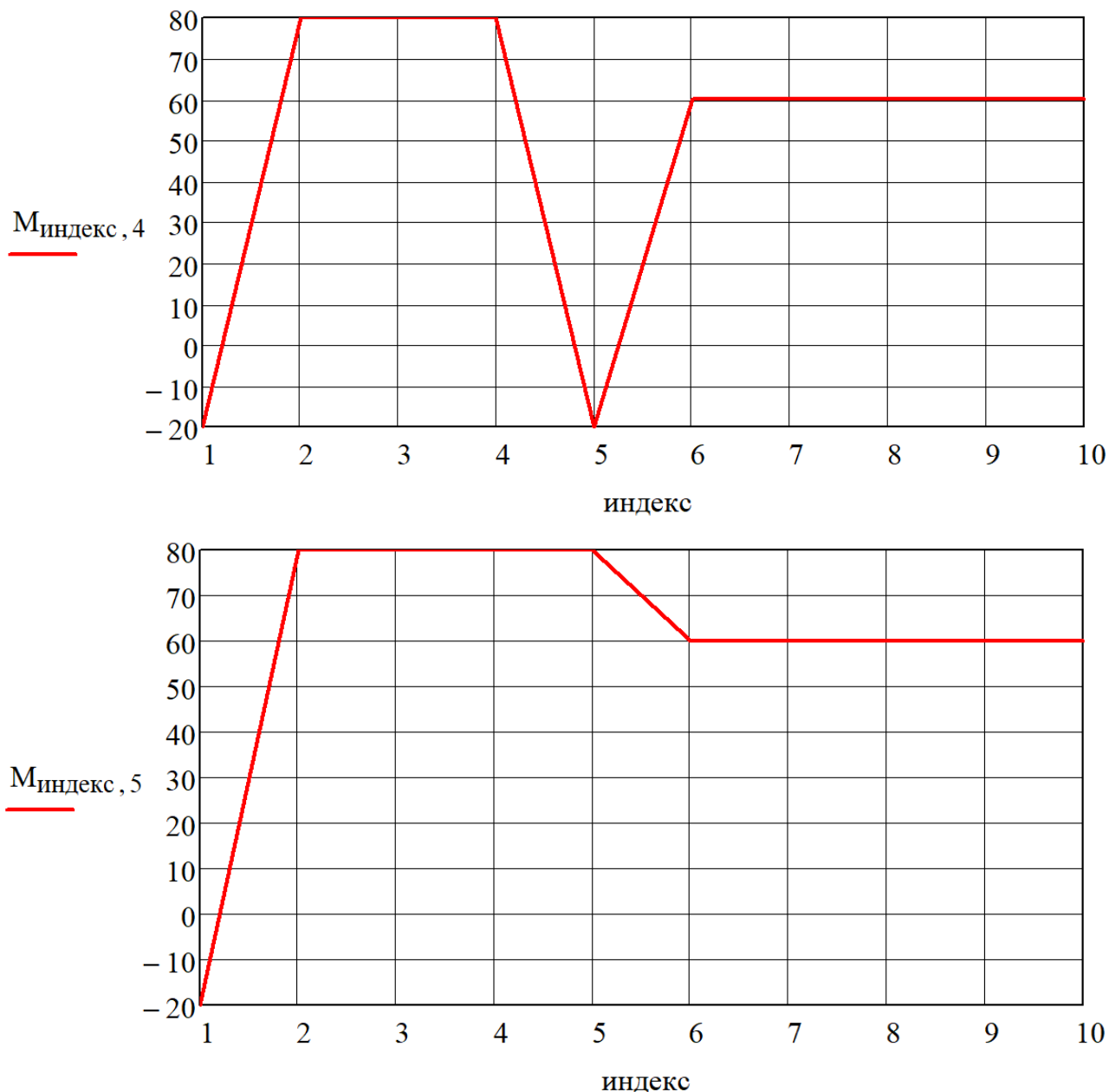


Рисунок 6. Визуализация применения метода полных циклов:

- 1 этап – наименьший размах от 40 до 30 [кН·м] ;
- 2 этап – наименьший размах от 10 до -10 [кН·м] ;
- 3 этап – наименьший размах от 60 до 20 [кН·м] ;
- 4 этап – наименьший размах от 60 до -20 [кН·м] ;
- 5 этап – наименьший размах от 80 до -20 [кН·м]

Зарегистрированы амплитуды и средние значения циклов нагружения:

$$\text{амплитуды} := \begin{bmatrix} \frac{40 - 30}{2} \\ \frac{10 - (-10)}{2} \\ \frac{60 - 20}{2} \\ \frac{60 - (-20)}{2} \\ \frac{80 - (-20)}{2} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 5 \\ 10 \\ 20 \\ 40 \\ 50 \end{pmatrix}$$

$$\text{средние} := \begin{bmatrix} \frac{40 + 30}{2} \\ \frac{10 + (-10)}{2} \\ \frac{60 + 20}{2} \\ \frac{60 + (-20)}{2} \\ \frac{80 + (-20)}{2} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 35 \\ 0 \\ 40 \\ 20 \\ 30 \end{pmatrix}$$

Заключение

Разработана концепция виртуальной лабораторной работы, которая предполагает компьютерную обработку осциллограммы крутильных колебаний, возникающих в электроприводе рабочих валков металлопрокатного стана, методами экстремумов, максимумов, минимумов, размахов и полных циклов с регистрацией амплитудных и средних значений циклов (полуциклов) нагружения.

Список литературы:

1. 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>
2. Мальцев А.А. Цифровая обработка осциллограммы крутильных колебаний двухпараметрическими методами. – [Электронный ресурс] Оригинальные

- исследования (ОРИС). 2022. Т.12, №3. С.186–212. – Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2022-oris-3-2022/a230549>
3. Мальцев А.А., Беляков Ю.И. Разработка концепции первой виртуальной лабораторной работы по дисциплине «ОДИН МО». – [Электронный ресурс] Оригинальные исследования (ОРИС). 2022. Т.12, №9. С.87–97. – Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2022-oris-9-2022/a230796>
 4. Мальцев А.А. Разработка парадигмы электронного учебника по дисциплине «Основы динамики и надежности металлургического оборудования». – [Электронный ресурс] Оригинальные исследования (ОРИС). 2022. Т.12, №8. С.140–148. – Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2022-oris-8-2022/a230764>

References:

1. A.A. Maltsev, I.A. Tarasenko. Digital processing of the torsional oscillogram by one-parameter method. – [Electronic resource] Original research (ORIS). 2022. Vol.12, #2. P.121–135. – Access mode: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2022-oris-2-2022/a230522> [in Russian].
2. A.A. Maltsev. Digital processing of the torsional oscillogram by two-parameter method. – [Electronic resource] Original research (ORIS). 2022. Vol.12, #3. P.186–212. – Access mode: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2022-oris-3-2022/a230549> [in Russian].
3. A.A. Maltsev, Y.I. Belyakov. Development of the concept of the first virtual laboratory work on the discipline "ОДИН МО". – [Electronic resource] Original research (ORIS). 2022. Vol.12, #9. P.87–97. – Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2022-oris-9-2022/a230796>
4. A.A. Maltsev. Development of the paradigm of an electronic textbook on the discipline "Fundamentals of dynamics and reliability of metallurgical equipment". – [Electronic resource] Original research (ORIS), 2022, Vol.12, #8. – P.140–148. – Access mode: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2022-oris-8-2022/a230764> [in Russian].