

УДК 621.771

**НАУЧНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОЧНЫХ РЕЖИМОВ ДЕТАЛЕЙ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОКАТНОГО СТАНА****Мальцев Андрей Анатольевич,**к. т. н, доцент кафедры ФН-7 МГТУ имени Н.Э. Баумана,
a.a.mal@bmstu.ru**Аннотация**

Путем математического моделирования выявлены амплитудные и средние значения циклов нагружения вала шпинделя прокатного стана – информация, необходимая для расчета вала на циклическую прочность. Построены спектры нагружения вала внутренним крутящим моментом для трех вариантов математического описания внешнего момента прокатки.

Ключевые слова: детали машин, электропривод, колебания, прокатный стан.**SCIENTIFIC RESEARCH OF THE LOADING MODES OF ROLLING MILL
ELECTRIC DRIVE MECHANICAL PART DETAILS****Andrey A. Maltsev,**candidate of technical sciences, associate professor of BMSTU ФН-7 department,
a.a.mal@bmstu.ru**ABSTRACT**

By means of mathematical modeling, the amplitude and average values of the cycles of loading of the spindle shaft of the rolling mill are revealed – information necessary for the calculation of the shaft for cyclic strength. The spectra of loading of the shaft by internal torque for three variants of mathematical description of the external rolling torque are constructed.

Keywords: machine parts, electric drive, vibrations, rolling mill.

Существующие методы прочностного анализа деталей машин при нагрузках, переменных во времени, методы расчета износа смазываемых узлов трения, а также вероятностные методы прогнозирования ресурса работы, способствующие конструированию высоконадежных прокатных станков, требуют предварительного исследования нагрузочных режимов [1, 2].

Механическая часть электропривода прокатного стана включает в себя следующие установленные на подшипниках вращающиеся детали и узлы: ротор электродвигателя,

шестерню и зубчатое колесо одноступенчатого цилиндрического редуктора, шестеренные валки шестеренной клетки, моторную и коренную соединительные муфты, а также рабочие и опорные валки рабочей клетки (рис. 1).

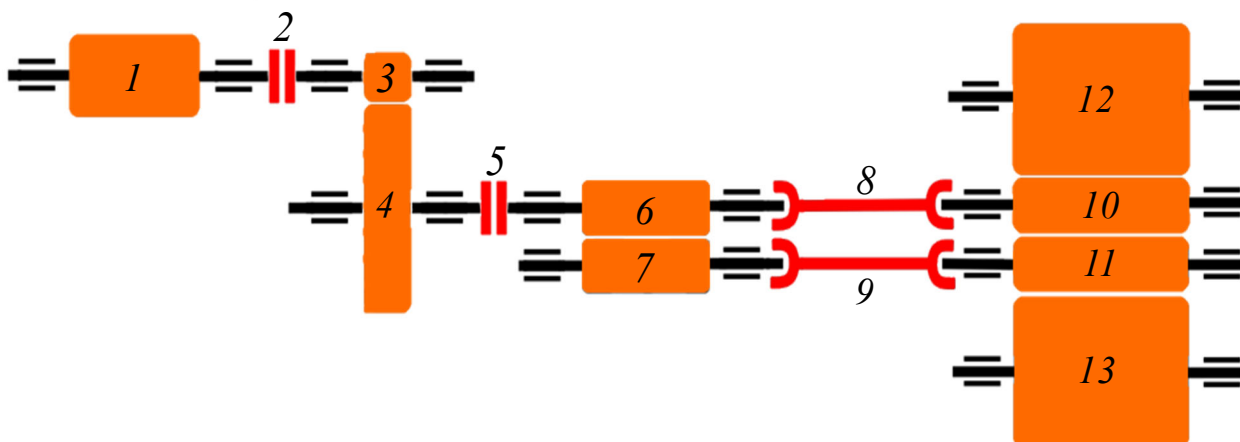


Рисунок 1. Механическая часть электропривода:

- 1 – ротор;
- 2, 5 – муфты;
- 3 – шестерня;
- 4 – зубчатое колесо;
- 6, 7 – шестеренные валки;
- 8, 9 – шпиндели;
- 10, 11 – рабочие валки;
- 12, 13 – опорные валки

С целью исследовать нагрузочный режим шпинделя при симметричной прокатке, составлена расчетная схема механической части электропривода – массивные абсолютно жесткие диски A, B и C , соединенные невесомыми упругими связями AB и AC (рис. 2):

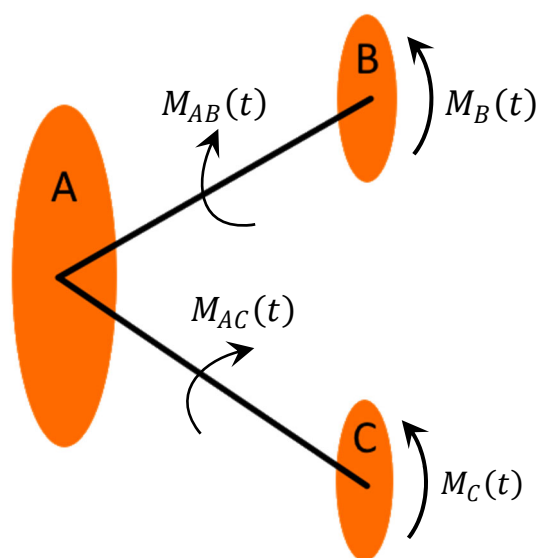


Рисунок 2. Расчетная схема:

$M_{AB}(t)$ – крутящий момент, возникающий в связи AB ;

$M_{AC}(t)$ – крутящий момент, возникающий в связи AC;

$M_B(t)$ – момент прокатки, приложенный к диску В;

$M_C(t)$ – момент прокатки, приложенный к диску С;

t – переменная времени

Пояснения к расчетной схеме:

диск А – ротор электродвигателя, муфты, шестерня и зубчатое колесо, верхний и нижний шестеренные валки;

диск В – верхние рабочий и опорный валки;

диск С – нижние рабочий и опорный валки;

связь АВ – верхний шпиндель.

связь АС – нижний шпиндель.

Рассмотрены три варианта математического описания момента прокатки – линейная функция времени, экспоненциальная функция времени, синусоидальная функция времени (рис. 3, 4, 5):

$$M_B(t) = M_C(t) = \begin{cases} \frac{M_{уст} t}{T_{зах}} & \text{при } t < T_{зах} \\ M_{уст} & \text{при } t \geq T_{зах} \end{cases} \quad (1)$$

$$M_B(t) = M_C(t) = M_{уст} (1 - e^{-t/A}) \quad (2)$$

$$M_B(t) = M_C(t) = \begin{cases} M_{уст} \sin \omega t & \text{при } t < T_{зах} \\ M_{уст} & \text{при } t \geq T_{зах} \end{cases} \quad (3)$$

где

ω – угловая скорость рабочих валков;

$M_{уст}$ – установившийся момент прокатки (на валке);

$T_{зах}$ – продолжительность захвата заготовки рабочими валками;

$A = 0,45 T_{зах}$ – показатель нарастания экспоненты [3].

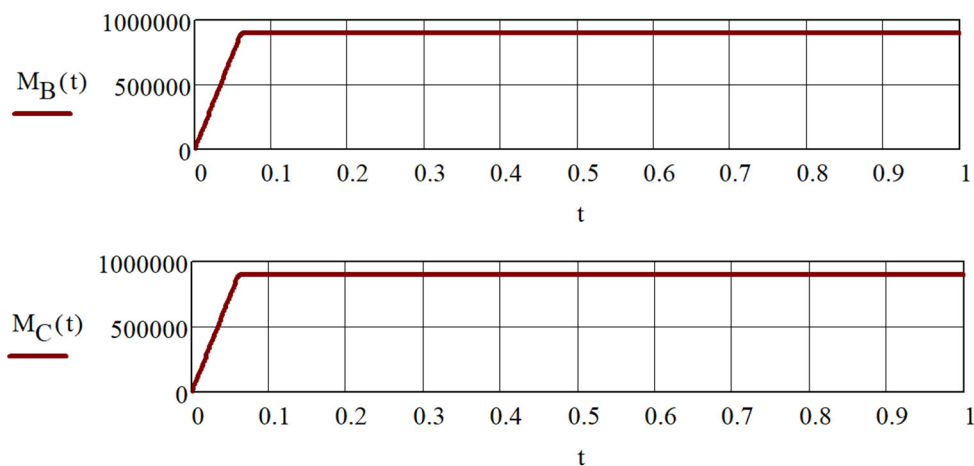
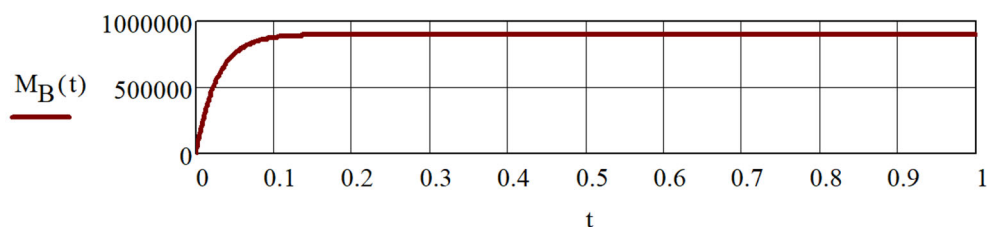


Рисунок 3. Графики $M_B(t)$ и $M_C(t)$ для 1 варианта



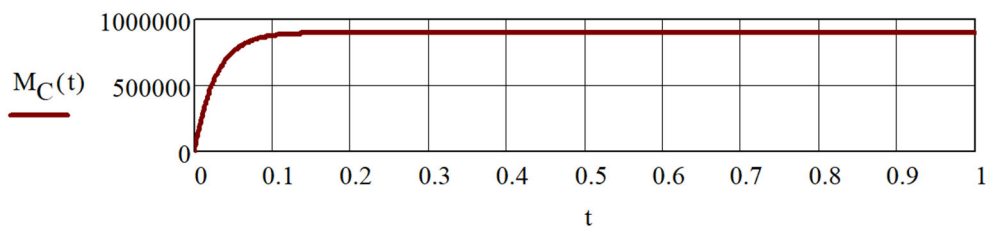


Рисунок 4. Графики $M_B(t)$ и $M_C(t)$ для 2 варианта

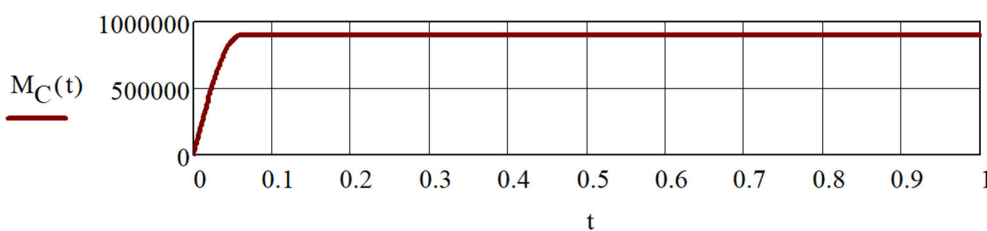
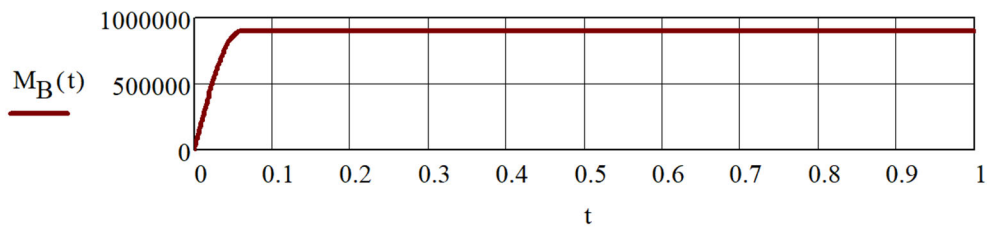


Рисунок 5. Графики $M_B(t)$ и $M_C(t)$ для 3 варианта

Для всех трех вариантов построены графики нагружения вала верхнего шпинделя внутренним крутящим моментом (рис. 6, 7, 8).

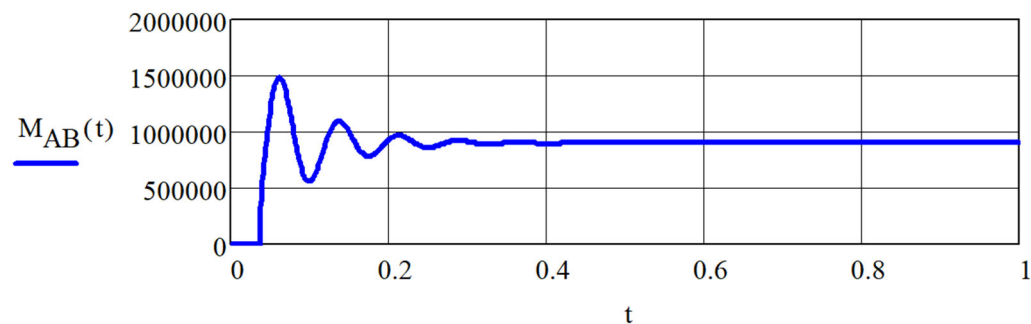


Рисунок 6. График $M_{AB}(t)$ для 1 варианта

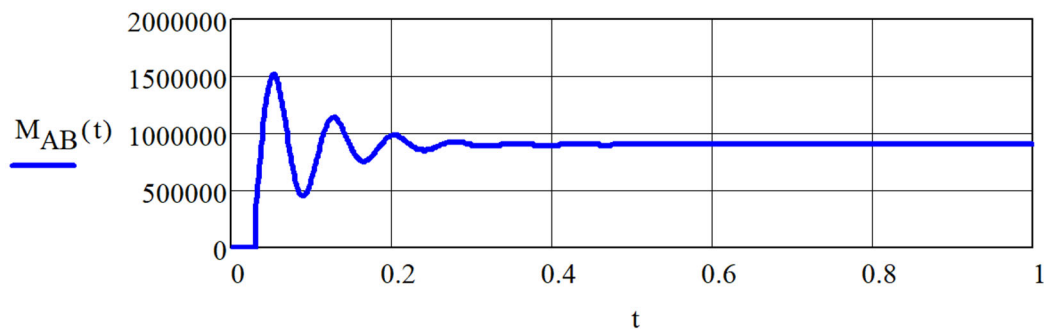


Рисунок 7. График $M_{AB}(t)$ для 2 варианта

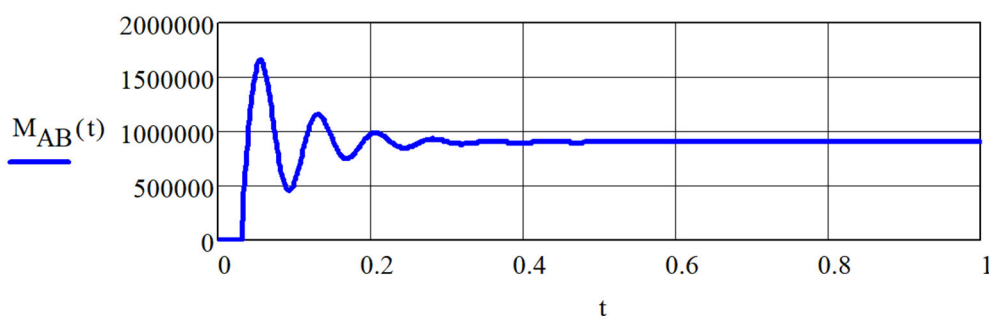


Рисунок 8. График $M_{AB}(t)$ для 3 варианта

На графиках выявлены точки экстремумов (табл. 1).

Таблица 1. Результаты предварительной обработки графиков

Экстремумы [кН · м]	1 вариант	2 вариант	3 вариант
1 (максимум)	1 490	1 520	1 660
2 (минимум)	560	450	460
3 (максимум)	1 100	1 140	1 160
4 (минимум)	780	760	750
5 (максимум)	970	980	990
6 (минимум)	860	850	850
7 (максимум)	920	930	930

Выделены полные циклы согласно методу, описание которого приведено в ГОСТ 25.101 – 83 (Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов) (рис. 9, 10, 11).

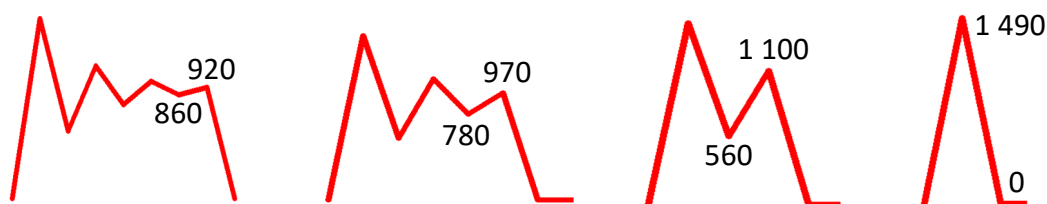


Рисунок 9. Выделение полных циклов для 1 варианта

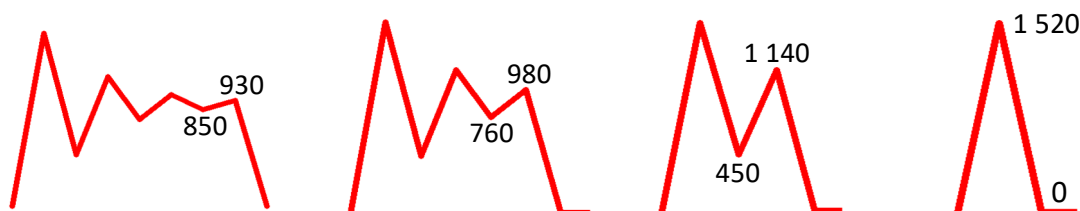


Рисунок 10. Выделение полных циклов для 2 варианта

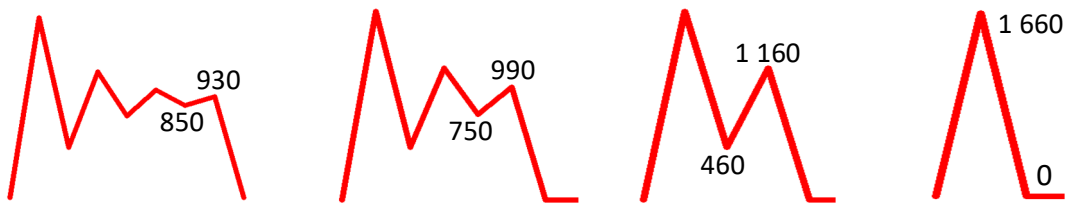


Рисунок 11. Выделение полных циклов для 3 варианта

Для каждого цикла вычислены амплитуда и среднее значение (табл. 2):

$$M_a = \frac{|M_{max} - M_{min}|}{2};$$

$$M_m = \frac{M_{max} + M_{min}}{2}.$$

Таблица 2. Результаты обработки графиков методом полных циклов

Вариант	Цикл	Максимум M_{max}	Минимум M_{min}	Амплитуда M_a	Среднее значение M_m
		[кН · м]			
1	1	1 490	0	745	745
	2	1 100	560	270	830
	3	970	780	95	875
	4	920	860	30	890
2	1	1 520	0	760	760
	2	1 140	450	345	795
	3	980	760	110	870
	4	930	850	40	890
3	1	1 660	0	830	830
	2	1 160	460	350	810
	3	990	750	120	870
	4	930	850	40	890

Построены спектры нагружения вала верхнего шпинделя внутренним крутящим моментом для вариантов математического описания по формулам (1), (2), (3) внешнего момента прокатки (рис. 12, 13, 14).

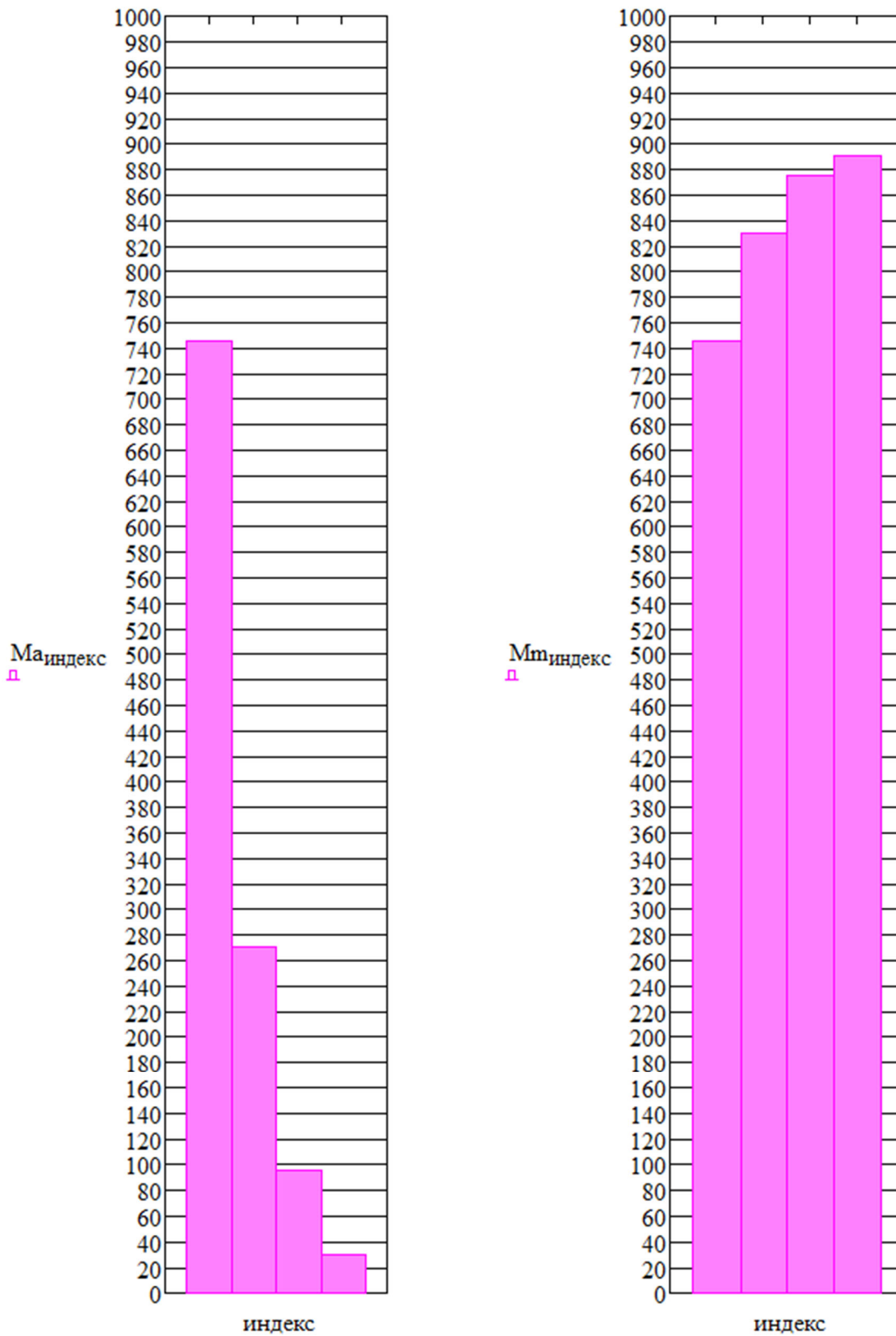


Рисунок 12. Амплитуды и средние значения полных циклов для 1 варианта

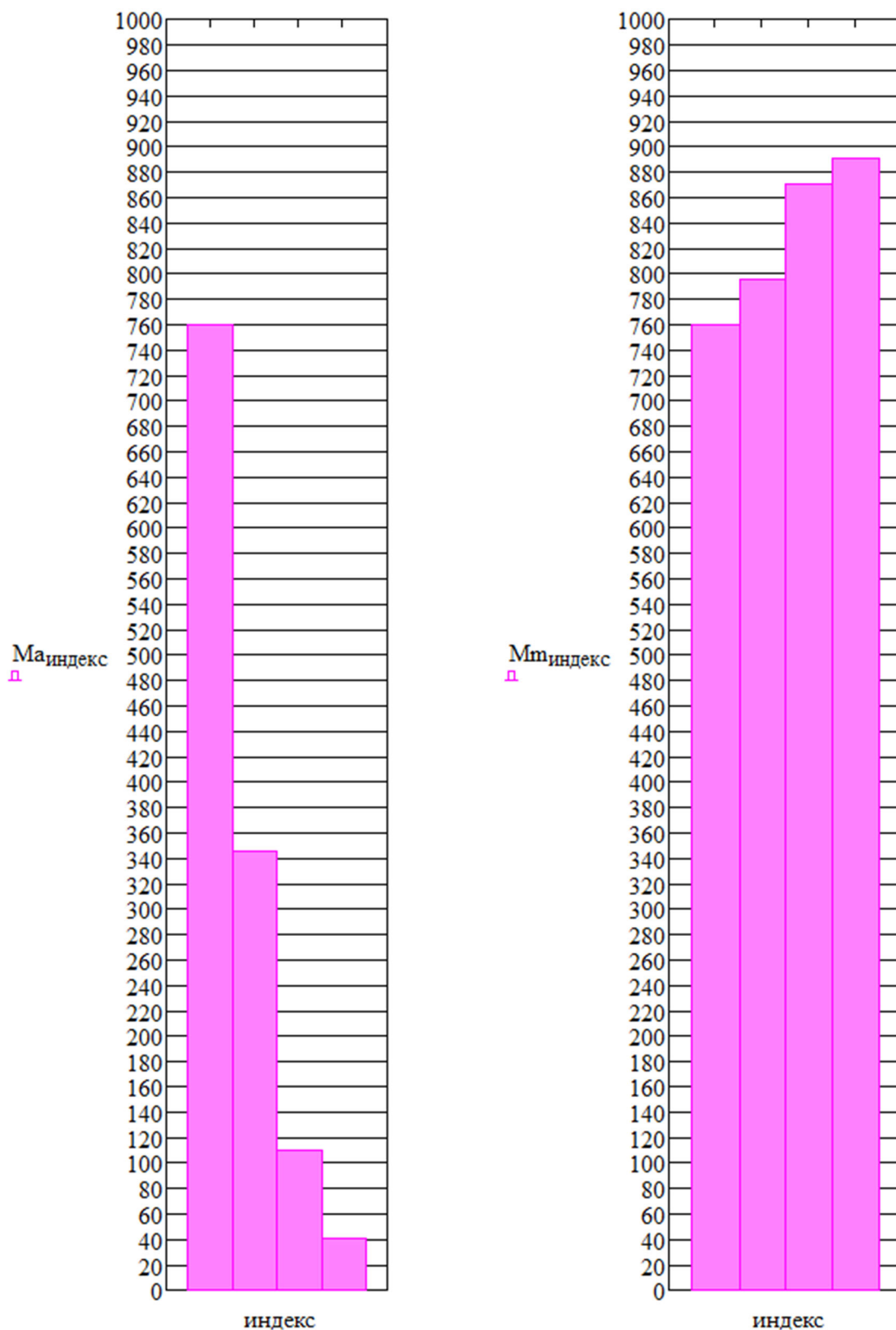


Рисунок 13. Амплитуды и средние значения полных циклов для 2 варианта

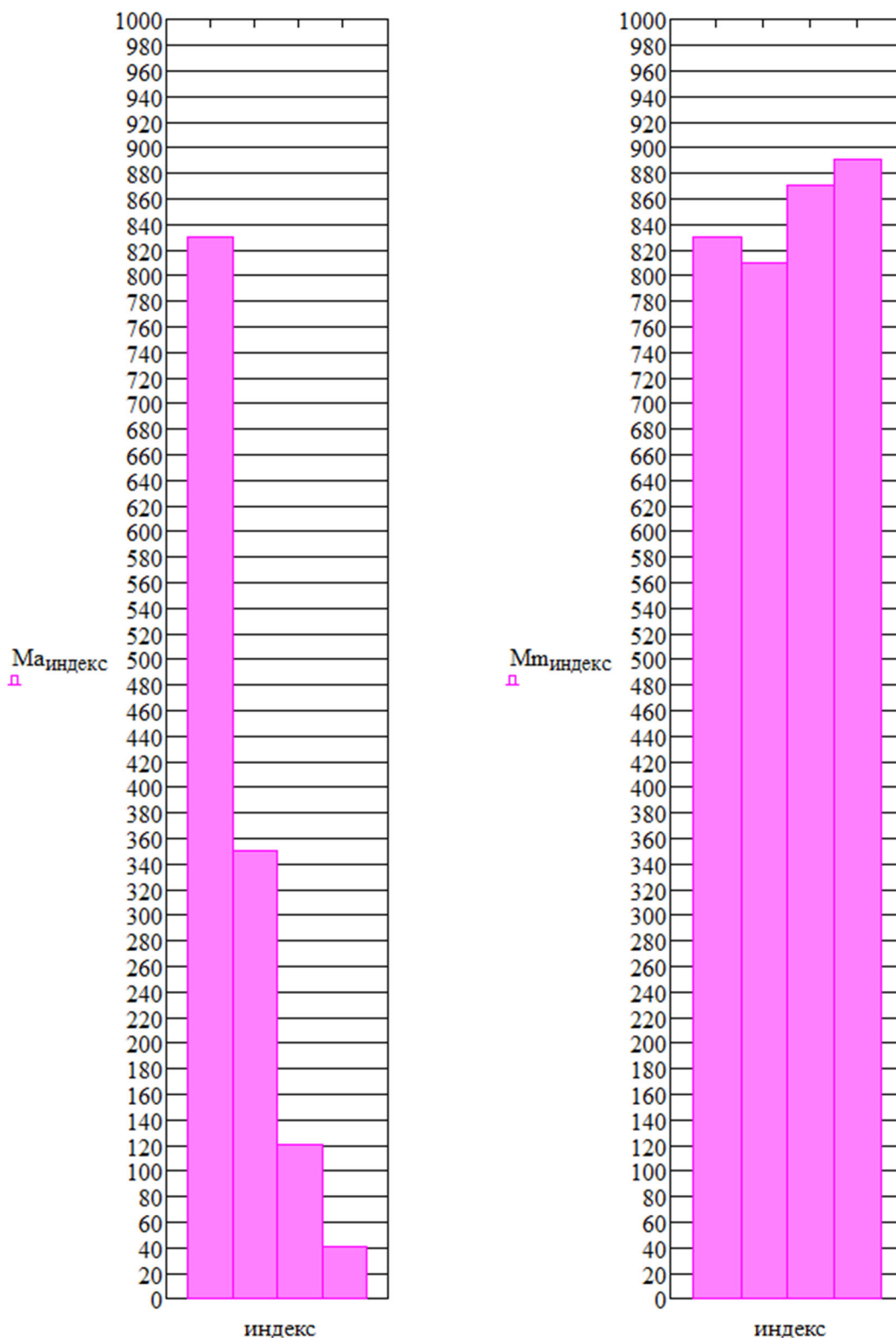


Рисунок 14. Амплитуды и средние значения полных циклов для 3 варианта

Вычислены абсолютные и относительные погрешности сравнения спектров амплитуд и средних значений полных циклов (табл. 3, 4).

Таблица 3. Результаты сравнения спектров амплитуд полных циклов

Цикл	1 вариант	2 вариант	Погрешность сравнения	
			Абсолютная	Относительная
1	745	760	15	2%

2	270	345	75	21%
3	95	110	15	14%
4	30	40	10	25%

Цикл	1 вариант	3 вариант	Погрешность сравнения	
			Абсолютная	Относительная
1	745	830	85	10%
2	270	350	80	23%
3	95	120	25	21%
4	30	40	10	25%

Цикл	2 вариант	3 вариант	Погрешность сравнения	
			Абсолютная	Относительная
1	760	830	70	8%
2	345	350	5	1%
3	110	120	10	8%
4	40	40	0	0%

Таблица 4. Результаты сравнения средних значений полных циклов

Цикл	1 вариант	2 вариант	Погрешность сравнения	
			Абсолютная	Относительная
1	745	760	15	2%
2	830	795	35	4%
3	875	870	5	1%
4	890	890	0	0%

Цикл	1 вариант	3 вариант	Погрешность сравнения	
			Абсолютная	Относительная
1	745	830	85	10%
2	830	810	20	2%
3	875	870	5	1%
4	890	890	0	0%

Цикл	2 вариант	3 вариант	Погрешность сравнения	
			Абсолютная	Относительная
1	760	830	70	8%
2	795	810	15	2%

3	870	870	0	0%
4	890	890	0	0%

Заключение

Спектры амплитуд и средних значений полных циклов нагружения вала верхнего шпинделя внутренним крутящим моментом, построенные для трех вариантов математического описания внешнего момента прокатки, могут быть использованы студентами для расчета этого вала на циклическую прочность в рамках подготовки к выступлению на конференции «Студенческая научная весна».

Список литературы:

1. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. – Москва: Машиностроение, 1993. – 364 с.
2. Яковлев Р.А. Расчет на износ узлов трения прокатных станов: учебное пособие по курсу «Основы динамики и надежности прокатных станов». – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 52 с.
3. Смирнов В.В., Яковлев Р.А. Механика приводов прокатных станов. – Москва: Металлургия, 1977. – 216 с.

References:

1. Kogaev V.P. Strength calculations under time-varying stresses. – Moscow: Mechanical Engineering, 1993. – 364 p.
2. Yakovlev R.A. Calculation of wear of friction units of rolling mills: textbook for the course "Fundamentals of dynamics and reliability of rolling mills". – Moscow: Bauman Moscow State Technical University publishing house, 2004. – 52 p.
3. Smirnov V.V., Yakovlev R.A. Mechanics of rolling mill drives. – Moscow: Metallurgy, 1977. – 216 p.