

# ОЦЕНКА ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА СИГНАЛОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ПЕРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Филипчук И.А., Смирнова М.А., Ивченко Т.Г. (каф. ЭС, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Для повышения эффективности функционирования электромеханических систем весьма актуальны задачи совершенствования методик их исследования. В настоящее время достаточно широкое распространение получили методы математического моделирования переходных и установившихся процессов функционирования электромеханических систем, позволяющие расчетным путем определять необходимые параметры их эксплуатации.

Использование в современных системах механообработки измерительных комплексов с аналогово-цифровыми преобразователями, имеющими значительные преимущества по способу хранения и обработки информации, скорости передачи данных, существенно расширяет возможности исследований параметров процесса резания [1]. В работе [2] предлагается способ определения гармонического состава сигналов (токов и напряжений), возникающих при измерении сил и температур резания в установившихся и переходных режимах. В результате выполненных исследований обоснована возможность расширения области применения известной в электрических системах методики определения гармонического состава фазных токов и напряжений [3].

Однако, в представленных методиках обработки сигналов, возникающих при измерении ЭДС, сил и температур резания, недостаточное внимание уделяется возможности сравнительного анализа их гармонического состава в зависимости от условий механообработки. Представляет интерес дальнейшее развитие указанной методики для различных условий функционирования системы резания.

Целью работы является совершенствование методики оценки гармонического состава токов и напряжений для исследования закономерностей изменения гармонического состава ЭДС в зависимости от износа режущего инструмента в процессе резания.

Основной параметр процесса резания, исследуемый в работе – ЭДС, представляемая в виде осциллограмм, полученных при измерениях на токарном станке с ЧПУ 16K20Ф3 с помощью тензометрического усилителя ТА-5, тензометрических датчиков и аналогово-цифрового преобразователя модели ADC-16 (PicoLog Ltd. Company).

Условия проведения экспериментов: обрабатываемый материал – сталь 45; инструментальный материал Т5К10; диаметр обработки  $d = 45\text{ мм}$ ; режимы обработки: глубина резания  $t = 1\text{ мм}$ ; подача  $s = 0.4\text{ мм/об}$ ; скорость резания  $v = 80\text{ м/мин}$ , частота вращения  $n = 200\text{ с}^{-1}$ . В результате анализа закономерностей изменения износа по задней поверхности лезвия режущего инструмента для указанных условий обработки установлен линейный характер изменения износа во времени в исследованном диапазоне параметров:  $h_{теор} = 0,05 + 0,015t$ .

Для каждого из зарегистрированных значений износов снимались осциллограммы  $E_{экс}$ , представленные на рис. 1.

Исходная величина ЭДС представляется в виде ряда Фурье:

$$i(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{mk} \cos(k\omega t - \varphi_k) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} B_k \sin k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} C_k \cos k\omega t, \quad (1)$$

где  $A_0$  – постоянная составляющая,  $B_k$  и  $C_k$  – коэффициенты, определяемые как сред-

## ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

ние значения  $n$  дискретно выделенных величин на интервале:

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} i(t) dt \approx \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n i_s(t); 0 \approx \frac{2}{n} i(s \frac{T}{n}) \sin(ks \frac{T}{n});$$

$$C_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} i(t) \cos(k\omega t) dt \approx \frac{2}{n} i(s \frac{T}{n}) \cos(ks \frac{T}{n}).$$

$I_{mk}, \varphi_k$  - амплитудное значение и начальная фаза ЭДС  $k$ -й гармоники;

$$I_{mk} = \sqrt{B_k^2 + C_k^2}; \quad \varphi_k = \arctg(B_k / C_k).$$

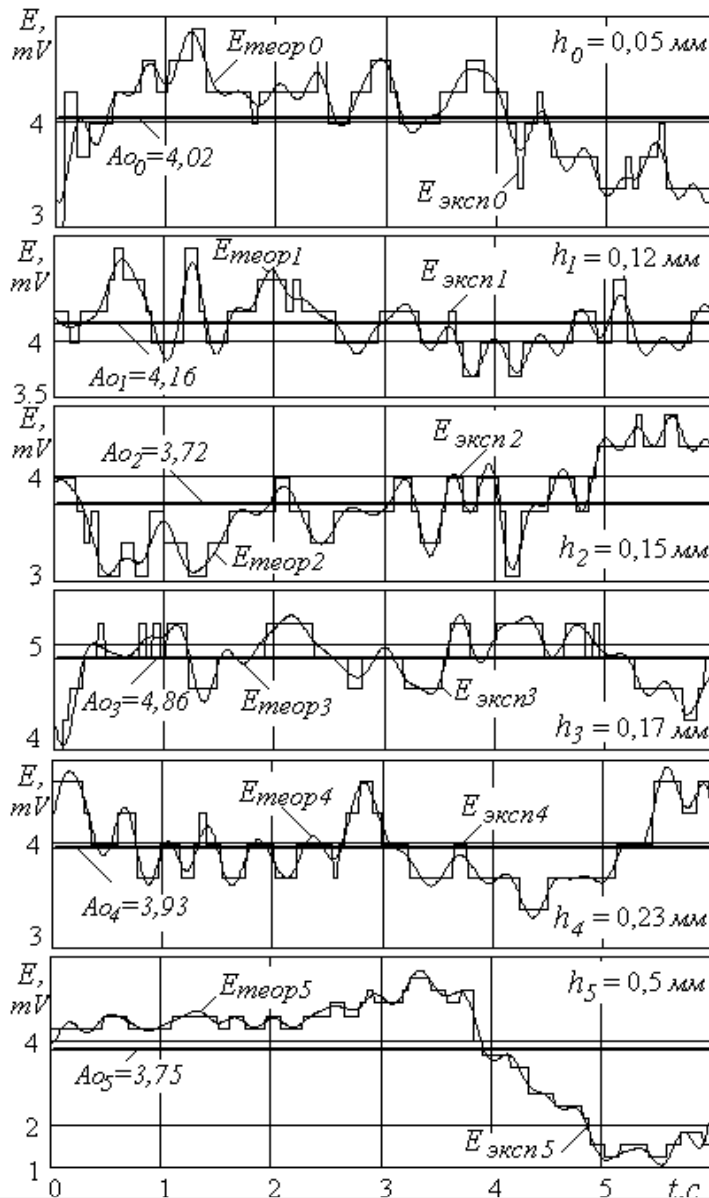


Рис.1. Исходные осциллограммы ЭДС -  $E_{\text{эксп}}$  и их гармонический состав по результатам разложения в ряд Фурье -  $E_{\text{теор}}$  для вариантов обработки с различными износами инструмента

Гармонический состав исходных осциллограмм по результатам разложения в ряд Фурье -  $E_{\text{теор}}$  также представлен на рис.1.

В соответствии с указанной методикой разработана программа, позволяющая разложить исходную кривую ЭДС в ряд Фурье с различным количеством гармоник. Адекватность предложенного метода оценивается по степени совпадения исходной кривой сигнала с результирующей кривой, полученной по сумме гармонических составляющих.

Сравнение ЭДС исходных осциллограмм  $E_{\text{эксп}}$ , полученных при измерении, с результатами теоретических расчетов  $E_{\text{теор}}$ , представленных на рис.1, свидетельствует о достаточно хорошем совпадении (погрешность не превышает 10%), что подтверждает адекватность расчетов и эксперимента и возможность использования предложенной методики расчета на практике.

Коэффициент несинусоидальности  $K_H$  [5]:

$$K_H = 100 I_k / I_{\text{НОМ}}, \quad (2)$$

где  $I_{\text{НОМ}}$  - действующее значение ЭДС;  $I_k$  - значение ЭДС  $k$ -

## ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

й гармоник.

По результатам расчета коэффициента несинусоидальности  $K_H$ , как по постоянным составляющим, так и по структуре гармонического ряда и степени влияния на результирующий сигнал, не позволяет установить их сходство или различие.

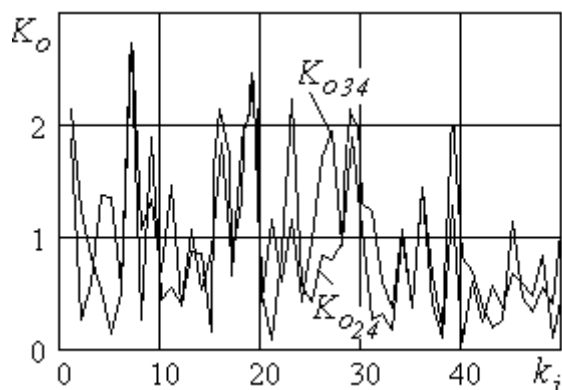


Рис. 2. Графики относительных коэффициентов несинусоидальности

Для сравнительного анализа структуры гармонического ряда в настоящей работе предлагается ввести относительный коэффициент несинусоидальности  $K_o$ , представляющий собой отношение оцениваемого коэффициента несинусоидальности  $K_H$  к коэффициенту, принятому за базу для сравнения  $K_{Hбаз}$ :

$$K_o = K_H / K_{Hбаз}, \quad (3)$$

На рис. 2 приведены графики относительных коэффициентов несинусоидальности для вариантов обработки с незначительно различающимися изно-

сами инструмента. Сравниваются коэффициенты несинусоидальности, характеризующие обработку при износе по задней поверхности лезвия  $h_1 = 0,12\text{мм}$  и  $h_2 = 0,15\text{мм}$  с обработкой лезвием инструмента при  $h_3 = 0,17\text{мм}$ :  $K_{o24} = K_{H2} / K_{H4}$ ;  $K_{o34} = K_{H3} / K_{H4}$ .

Для этого варианта значения относительных коэффициентов несинусоидальности  $K_{o24}$  и  $K_{o34}$  отличаются весьма незначительно и имеют средние значения, близкие к 1, что свидетельствует об отсутствии существенных различий сравниваемых вариантов по структуре гармонического ряда.

Графики относительных коэффициентов несинусоидальности для вариантов обработки во всем диапазоне изменения износов инструмента приведены на рис. 3. В качестве базы для сравнения принимается вариант обработки с практически неизношенным лезвием инструмента при  $h_0 = 0,05\text{мм}$ :  $K_{oi} = K_{Hi} / K_{H0}$ .

Графики относительных коэффициентов несинусоидальности  $K_{oi}$  свидетельствуют о том, что по мере износа инструмента в структуре гармонического ряда выделяется группа гармоник, значительно превышающая остальные, причем с повышением износа диапазон выделяющихся гармоник сужается.

Для наибольшего из исследованных значений износа  $h_5 = 0,5\text{мм}$  установлено, что для 13 гармоники значение относительного коэффициента несинусоидальности  $K_{o5}$  существенно превышает остальные, то есть степень влияния этой гармоники на результирующий сигнал весьма значительна и отражает характерные изменения, связанные с особенностями сравниваемых вариантов. В соответствии с представленной методикой разложения в ряд Фурье (1) могут быть определены параметры этой гармоники: амплитудное значение  $I_{mk}$  и начальная фаза  $\varphi_k$  ЭДС 13-й гармоники  $I_{m13} = 0,096\text{мВ}$ ,  $\varphi_{13} = -1,176$  (коэффициенты  $B_{13} = 0,037$  и  $C_{13} = -0,088$ ).

Таким образом, на основании предложенного относительного коэффициента несинусоидальности  $K_o$  может быть осуществлен сравнительный анализ структуры гармонического ряда параметров процесса резания при различных вариантах и условиях обработки.

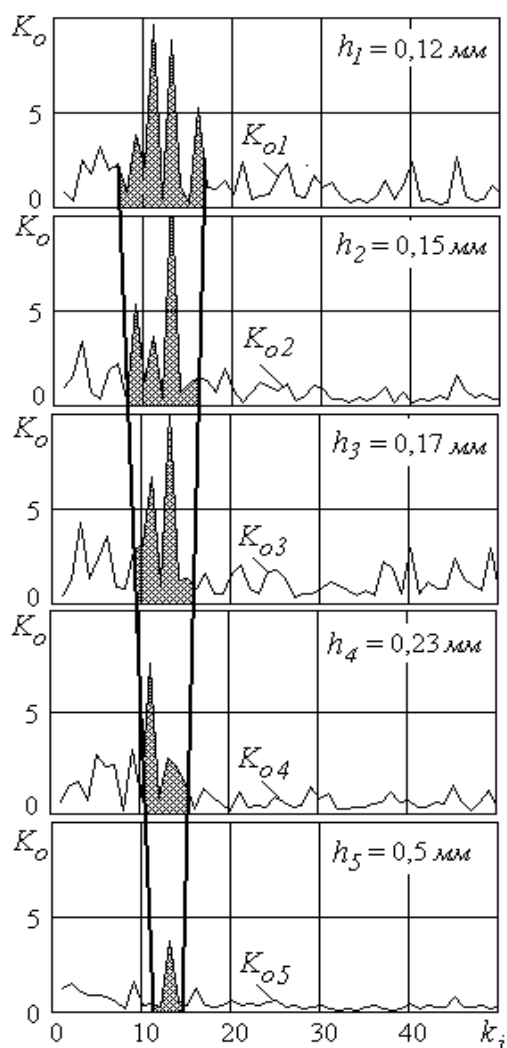


Рис. 3. Графики относительных коэффициентов несинусоидальности для вариантов обработки с различными износами инструмента

Значения относительных коэффициентов несинусоидальности для несущественно отличающихся условий, например, при практически равных значениях износа задней поверхности лезвия инструмента, отличаются весьма незначительно и имеют среднее значение, близкое к 1, что свидетельствует об отсутствии существенных различий сравниваемых вариантов по структуре гармонического ряда.

В случае существенных различий в условиях обработки значения относительных коэффициентов несинусоидальности позволяют оценить различия в структуре гармонического ряда, выделить гармоники, наиболее сильно влияющие на результирующий сигнал.

На основании предложенного относительного коэффициента несинусоидальности выполнена сравнительная оценка гармонического состава ЭДС резания для различных вариантов обработки. Исследованы закономерности изменения гармонического состава ЭДС в зависимости от износа режущего инструмента в процессе резания.

Предложенная методика может найти применение для исследования и математического описания сигналов, полученных с помощью натуральных осциллограмм при измерении параметров в различных условиях процесса резания.

**Список литературы:** 1. Матвиенко А.В., Феник Л.Н. К вопросу о влиянии ЭДС резания на шероховатость обработанной поверхности // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. - Донецк: ДонНТУ, 2006. - Вып. 32. - С.74-77. 2. Смирнова М.А., Матвиенко А.В., Ивченко Т.Г. Применение методики определения гармонического состава сигналов при анализе параметров процесса резания // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Вип.21. - Краматорськ: ДДМА, 2007.- С.312-318. 3. Смирнова М.А. Определение гармонического состава токов и напряжений при измерении сил резания в механообработке // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 4 (124) - Донецьк, ДонНТУ, 2007.- С.49-55.