

Рис. 7. Оциллограмма колебаний во времени t момента T на выходном валу трансмиссии трактора МТЗ при ее испытаниях на стенде с открытым силовым контуром.

Для конкретных трансмиссий может быть разработана динамическая модель, позволяющая моделировать крутильные колебания в кинематической цепи на стадии создания или существенной модернизации привода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Петрусевич А.И., Генкин М.Д., Гринкевич В.К. Динамические нагрузки в зубчатых передачах с прямозубыми колесами. М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 134 с.
2. Вибрации в технике. Справочник в 6-ти т. / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред). М.: «Машиностроение», 1980 - Т.3. Колебания машин, конструкций и их элементов / Под. ред. Ф.М. Диментберга и К.С. Колесникова, 1980. - 544 с.
3. С.С. Уонг. Вращательные колебания в зубчатой передаче с зазором. Ч.1 // Конструирование и технология машиностроения. - 1978, № 2. - С. 113-118.
4. С.С. Уонг. Вращательные колебания в зубчатой передаче с зазором. Ч.2 // Конструирование и технология машиностроения. - 1981, № 2. - С. 65-75.
5. Пат. 4261 С2 ВУ, МПК G 01 М 13/02. Способ вибрационной диагностики нагруженности зубьев зубчатых передач при испытаниях / О.В. Берестнев, Н.Н. Ишин, В.Л. Басинюк, Я.О. Берестнев, Я.В. Басинюк. – № а 19980960; Заявл. 21.10.1998; Опубл. 30.12.2001 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. камітэт Рэсп. Беларусь. – 2001. – №4. – С. 171 – 172.
6. Вибромониторинг внутренней динамической нагруженности, точностных параметров и износов отдельных пар зубьев передач зацеплением / Я.В. Басинюк, Н.Н. Ишин, В.Л. Басинюк, Е.И. Мардосевич // Вестник Брестского государственного технического университета. Машиностроение, Автоматизация, ЭВМ. – 2001. – № 4(10). – С. 48 – 53.
7. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность. - Введ. 01.01.1989.- М.: Изд-во стандартов, 1988. - 128 с.
8. Alexander V. Dragan, Andrew S. Scorohodov, Vera S. Alexandrova Kinematic Criteria of Smoothness of Work of Cylindrical Gear Wheels/ Proceedings of the 11th World Congress in Mechanism and Machine Science // April 1–4, 2004, Tianjin, China, China Machinery Press, edited by Tian Huang. – pp.- 773-777.

УДК 62-587.5

**Басинюк В.Л., Драган А.В., Басинюк Я.В.,
Мардосевич Е.И., Усс И.Н.**

ДИСКРЕТИЗАЦИЯ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ С ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ КОЛЕБАНИЙ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное развитие микропроцессорных вычислительных средств существенно расширило возможности и позволило значительно повысить информативность диагностирования зубчатых передач с использованием методических подходов, основанных на анализе генерируемых ими колебаний, зарегистрированных в реальном масштабе времени [1, 2]. Вместе с тем, для их реализации необходим технически обоснованный выбор средств съема, хранения и обработки контролируемых параметров.

К одному из наиболее важных факторов можно отнести возможность дискретизации контролируемых параметров с заданной частотой. Ее занижение удешевляет аппаратные средства, но приводит к существенному искажению исходного сигнала и потере информативных данных, необоснованное завышение - не только увеличивает стоимость микропроцессорных

средств, но и зачастую значительно усложняет алгоритмы обработки исходного сигнала и программное обеспечение.

Поэтому представляет определенный научный и практический интерес их зависимость от скоростных и нагрузочных режимов функционирования зубчатой передачи.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью исследований являлось исследование влияния частоты дискретизации контролируемых параметров на точность определения амплитудных значений колебаний, генерируемых зубчатыми передачами и анализируемых в реальном масштабе времени, и разработка методики выбора рациональных частот дискретизации контролируемых параметров, позволяющей осуществить технически обоснованный выбор микропроцессорных аппаратных средств для мониторинга и

диагностирования качества их изготовления и состояния в процессе изготовления, испытаний и в эксплуатации.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в два этапа:

- на ПЭВМ моделировались периодические колебания с двумя частотами - вынужденной, имеющей существенно большую, по сравнению с собственной, амплитуду A_3 зубцовой круговой частотой ω_3 и, более высокочастотной, собственной частотой ω_0 с амплитудой A_0 , сформированных в соответствии с функцией y от времени t

$$y = A_3 \cdot \sin(\omega_3 \cdot t) + A_0 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t). \quad (1)$$
- посредством программной обработки имитировалась дискретизация сигнала с различной частотой и оценивалось отклонение амплитуд и формы полученного сигнала от исходных, полученных при повышенной частоте дискретизации;
- при работе на стенде зубчатой передачи, имеющей числа

зубьев $Z_1 = Z_2 = 40$ и модуль $m = 3$ мм дискретизировался аналоговый сигнал с пьезоэлектрического датчика, регистрирующего виброускорения, генерируемые зубчатый зацеплением при заданных скоростных и нагрузочных режимах функционирования, и анализировались изменения характеристик полученного сигнала.

Частоты дискретизации регистрируемых параметров при натурных испытаниях выбирались с учетом возможностей используемого контроллера и скоростных режимов функционирования диагностируемой зубчатой передачи таким образом, чтобы при их реализации обеспечивался съем $N = 12 - 32$ измерительных точек при повороте колес на угловой шаг.

Исследования проводились при угловых скоростях вращения входного вала испытываемой передачи $\omega = 12; 25; 54; 90$ рад/с. Соответствующие принятым режимам частоты дискретизации f_N , зубцовые вынужденные f_Z и экспериментально определенные собственные f_0 частоты колебаний приведены в таблице.

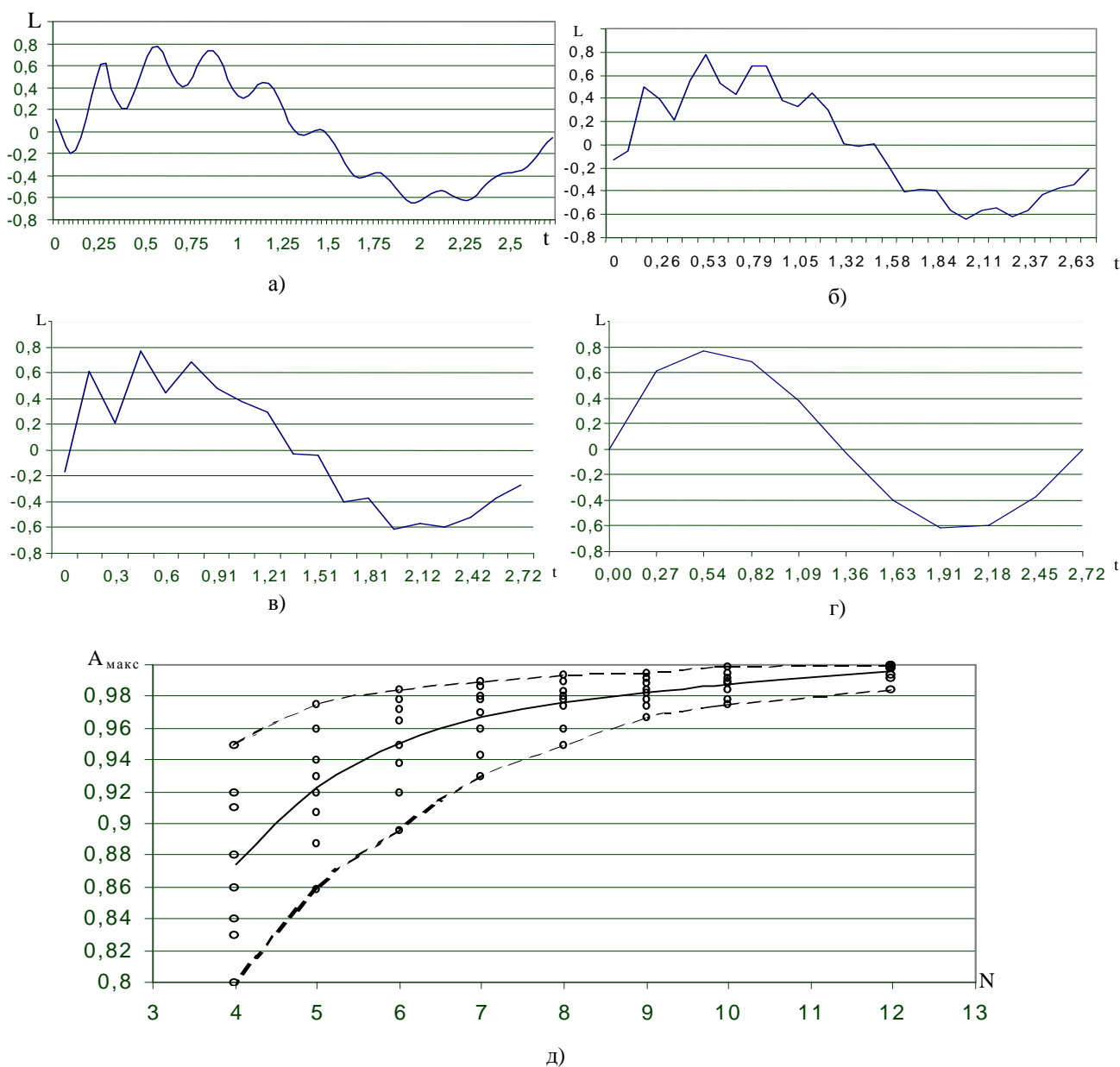


Рис. 1. Влияние частоты дискретизации на форму (а-г) и амплитудные значения (д) контролируемых параметров при числе измерительных точек « N », равном: а –100, б –33, в –20, г –10 и $f_D=1672$ Гц, $f_0=4120$ Гц и $f_3=360$ Гц.

Параметры съема диагностической информации

ω , рад/с	N	f_N , Гц	f_z , Гц	F_0 , Гц
12	18	1440	80	3200
25	22	3670	167	3200
54	12	4320	360	3200
54	32	11520	360	3200
90	15	9000	600	3200

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов моделирования на ПЭВМ процессов дискретизации аналоговых сигналов показал следующее.

Частота дискретизации контролируемых параметров оказывает существенное влияние как на форму (рис. 1), так и на максимальные значения амплитуд собственных колебаний. При малом числе значений выборки (рис.1 г) практически исчезают более высокочастотные компоненты колебаний. Их выделение с использование разложения Фурье и тем более

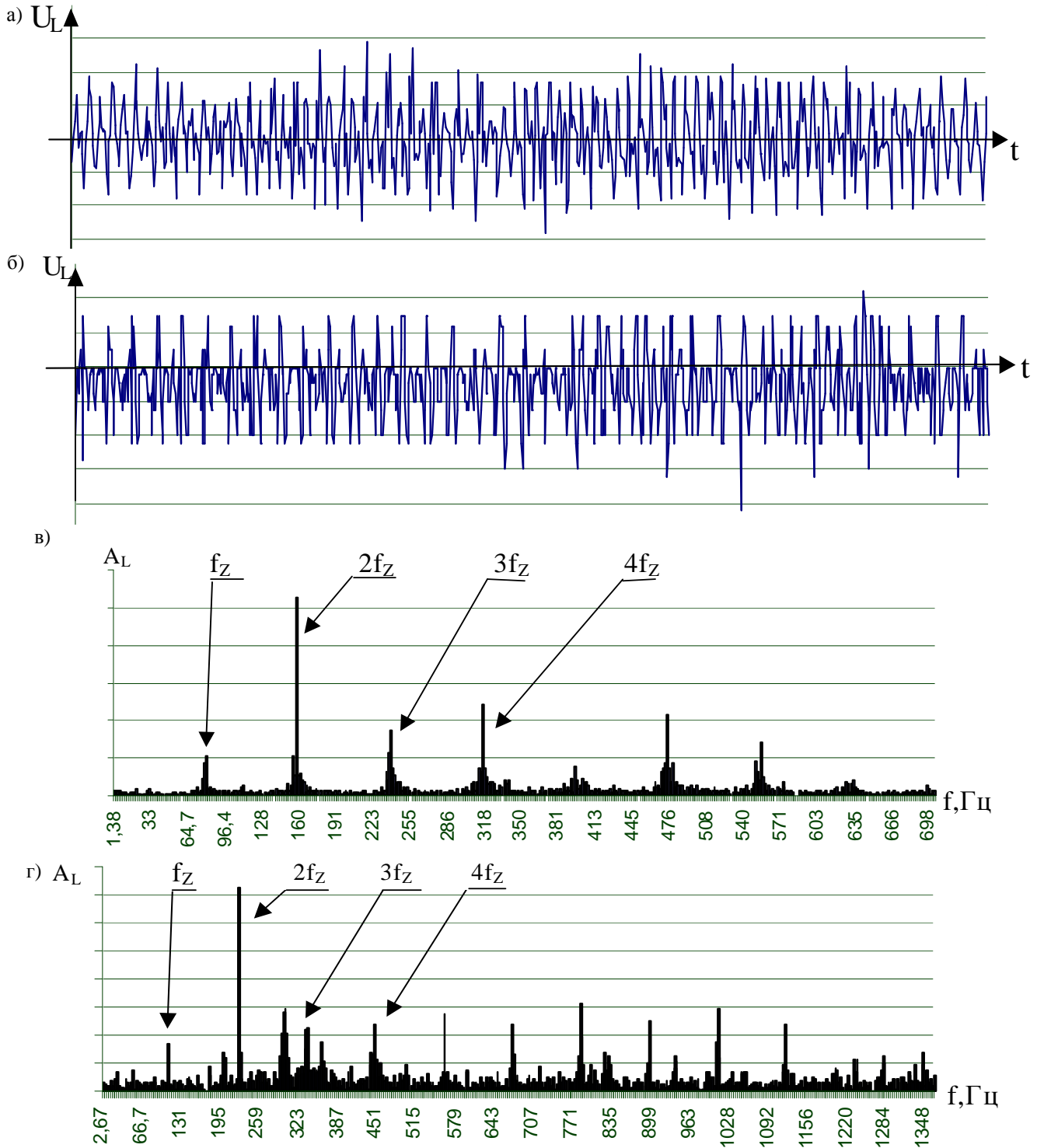


Рис. 2. Осциллограммы сигналов с датчика вибрации, зарегистрированные при скорости вращения входного вала исследуемой передачи 12 рад/с (а), 25 рад/с (б) и частоте дискретизации, обеспечивающей съем 18 (а) и 22 (б) измерительных точек при повороте диагностируемого зубчатого колеса на угловой шаг; амплитудные спектры, полученные быстрым преобразованием Фурье соответствующих временных реализаций для 18 (в) и 22 (г) измерительных точек.

оценка амплитудных значений (рис.1 в, д) становится крайне проблематичным. Наиболее рациональная частота дискретизации при диагностировании прямозубчатых зубчатых колес, обеспечивающая приемлемую для инженерной практики точность оценки амплитудных значений колебаний при погрешности не более 6-10%, скорость съема диагностической информации и использование наиболее рационального объема памяти микропроцессорных средств, обеспечивается при

наличии 7-10 измерительных точек на период с наибольшей частотой (рис.1 а, б, д).

Для выбора частоты дискретизации может быть реализована следующая методика:

- с использованием экспериментально полученных или расчетных данных определение ориентировочных значений наиболее высоких для зубчатых передач собствен-

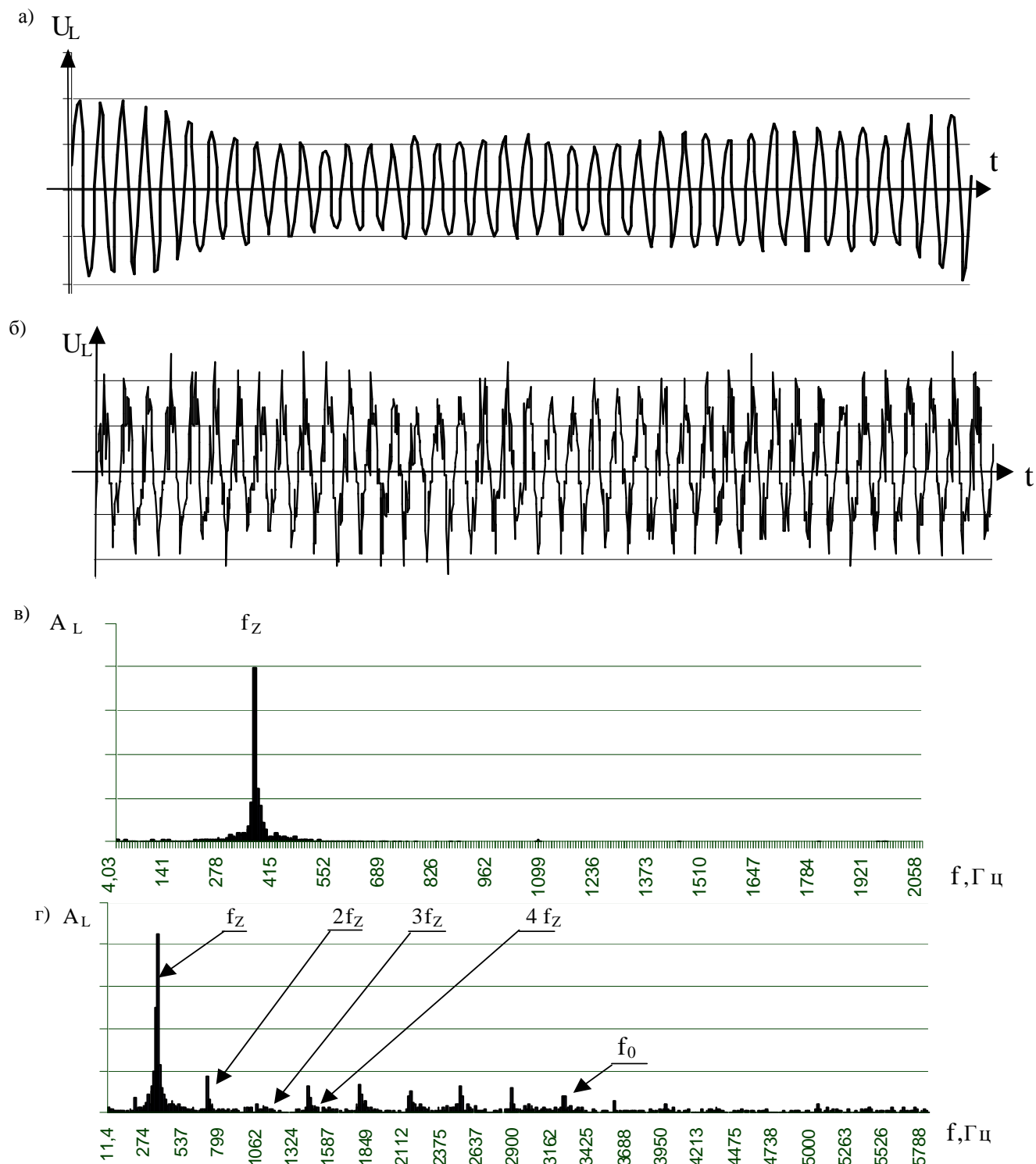


Рис. 3. Осциллограммы сигналов с датчика вибраций, зарегистрированные при скорости вращения входного вала 54 рад/с и частоте дискретизации, обеспечивающей съём 12 (а) и 32 (б) измерительных точек при повороте диагностируемого зубчатого колеса на угловой шаг; амплитудные спектры, полученные быстрым преобразованием Фурье соответствующих временных реализаций для 12 (в) и 32 (г) измерительных точек.

ных частот колебаний каждой зубчатой пары $f_{01}, f_{02}, \dots, f_{0k}$;

- определение угловых скоростей вращения входного вала диагностируемой передачи, позволяющих «разделить» зубцовые и собственные частоты, исключить при диагностировании резонансы и обеспечить генерирование собственных колебаний $f_{01}, f_{02}, \dots, f_{0k}$ с амплитудами, значения которых сопоставимы с амплитудами вынужденных колебаний на зубцовой частоте;
- расчет соответствующих значениям $f_{01}, f_{02}, \dots, f_{0k}$ частот дискретизации виброакустического сигнала $f_{G1}, f_{G2}, \dots, f_{Gk}$

$$f_{G1}=(7-10)f_{01}, f_{G2}=(7-10)f_{02}, f_{Gk}=(7-10)f_{0k} \quad (2)$$

и выделение наибольшей из них;

- с учетом наименьшего общего кратного q_j чисел зубьев каждой зубчатой пары диагностируемой передачи определение минимального объема выборки, необходимого для эффективной реализации процесса диагностирования каждого колеса и его зубьев

$$\begin{aligned} N_1 &= (4-6) Z_{11} \cdot Z_{12} \cdot f_{G1} \cdot \pi / (\omega_1 \cdot q_{1j}); \\ N_2 &= (4-6) Z_{21} \cdot Z_{22} \cdot f_{G2} \cdot \pi / (\omega_2 \cdot q_{2j}); \\ &\dots\dots\dots \\ N_k &= (4-6) Z_{k1} \cdot Z_{k2} \cdot f_{Gk} \cdot \pi / (\omega_k \cdot q_{kj}), \end{aligned} \quad (3)$$

где k – число зубчатых колес диагностируемой зубчатой передачи;

- формирование блока значений срединных частот и ширины узкополосных фильтров, необходимых для реализации процесса диагностирования;
- синтез микропроцессорной части системы диагностирования с использованием базы данных с технико-экономическими параметрами;
- формирования режимов диагностирования, команд для блока программно-управляемых узкополосных фильтров

и алгоритмов обработки контролируемых параметров.

Использование данной методики позволяет определить технически обоснованную частоту дискретизации аналоговых сигналов и ориентировочный объем регистрируемой информации и на основе этого выбрать экономически целесообразные аппаратные средства для реализации процесса диагностирования, требуемый уровень информативности при обработке регистрируемых параметров.

Анализ результатов экспериментальных исследований влияния частоты дискретизации на фиксируемые параметры вибраций подшипниковых опор, генерируемых зубчатым зацеплением, показал следующее.

Влияние частоты дискретизации аналоговых сигналов с первичных преобразователей на форму и частотный состав фиксируемых параметров связано с режимами функционирования диагностируемого объекта (рис. 2-4). На амплитудных спектрах, полученных при $f_N > (15-20) f_Z$, четко выделяются как зубцовые частоты, так и их вторая, третья, четвертая и последующая гармоники (рис. 2, 3б, г и 4). Эти гармоники используются при гребенчатой фильтрации сигнала для расширения информативности диагностирования, а также при идентификации собственных частот колебаний с генерирующими их зубчатыми передачами путем создания резонансных режимов функционирования диагностируемого объекта. При $f_N < 15 f_Z$ полученный сигнал близок к отфильтрованному узкополосным фильтром (рис. 3а). В его амплитудном спектре вторая, третья и последующие гармоники настолько слабо выражены, что вряд ли могут быть использованы в качестве диагностических признаков при выделении из параметров колебаний частот, генерируемых отдельными зубчатыми парами и их зубьями.

Частота дискретизации аналоговых сигналов с первичных преобразователей оказывает существенное влияние и на возможность выделения собственных частот колебаний зубчатых колес. Они становятся заметными в амплитудном спектре вибраций лишь при частотах f_N , как минимум вдвое, второе превышающих значение f_0 (рис.3 г).

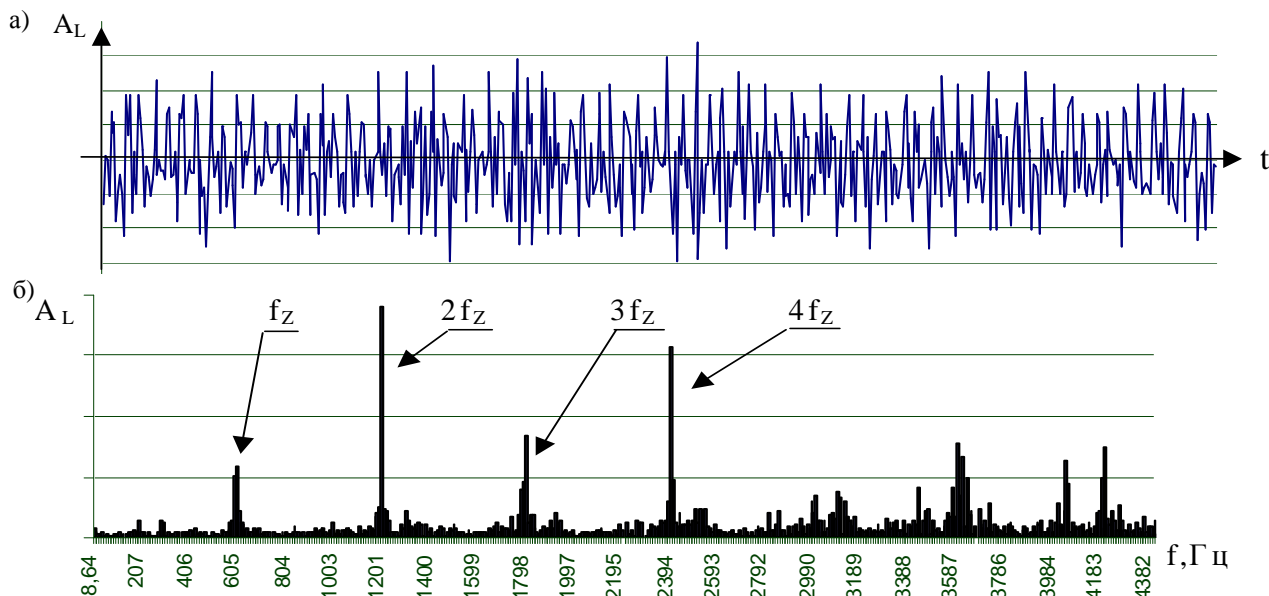


Рис. 4. Осциллограмма сигналов с датчика вибраций (а), зарегистрированная при скорости вращения входного вала 90 рад/с, частоте дискретизации, обеспечивающей съем 15 измерительных точек при повороте диагностируемого зубчатого колеса на угловой шаг, и ее амплитудный спектр (б), полученный быстрым преобразованием Фурье.

ВЫВОДЫ

Частота дискретизации аналоговых сигналов с первичных преобразователей оказывает существенное влияние не только на технико-экономические показатели аппаратного обеспечения вибромониторинга и вибродиагностики зубчатых передач, основанных на анализе амплитудных значений генерируемых зубчатыми передачами колебаний в реальном масштабе времени, но и на точностные параметры и информативность процесса обработки контролируемых параметров.

В ряде случаев технически обоснованный выбор частот дискретизации аналоговых сигналов позволяет обеспечить фильтрацию сигнала без применения специальных аппаратных или программных средств.

В целом, выбор технически обоснованных частот дискретизации контролируемых параметров позволяет существенно повысить информативность мониторинга и диагностики зубчатых передач при разумной минимизации стоимости и допустимом упрощении используемых для этого микропроцессорных аппаратных средств.

УДК 658.512.011.56

Мурашко В.С.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация технологической подготовки значительно сокращает сроки подготовки производства за счет автоматизации инженерного труда.

Непрерывное усложнение современных технических средств, повышающихся требований к их надежности, качеству и технико-экономическим показателям, необходимость сокращения сроков разработки, уменьшение её трудоемкости и стоимости, а также повышение эффективности труда инженеров – проектировщиков, конструкторов и технологов являются основными предпосылками создания и внедрения систем автоматизации на базе применения математических методов и средств вычислительной техники.

Автоматизированный расчет суммарной погрешности обработки является одним из шагов в автоматизации труда инженера-технолога [1]. Вычислить суммарную погрешность обработки сложно. Это объясняется недостаточным количеством данных по элементарным погрешностям обработки, отсутствием частных методик по расчету технологических процессов на точность [2]. Поэтому технологу в некоторых случаях приходится самостоятельно разрабатывать план, анализировать результаты теоретических и экспериментальных исследований.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основными задачами работы являются:

- исследование математической модели расчета суммарной погрешности обработки;
- анализ информации, необходимой для расчета суммарной погрешности обработки;
- обоснование выбранных методов проектирования и инструментальных средств;

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Я.В. Басинюк. Повышение эффективности диагностирования передач зацеплением на основе применения современных информационных технологий при анализе изменений характеристик их динамических структур // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. ИНДМАШ НАН Беларуси. Минск, 2002. – 203с.
2. Пат. 4872337 США, МКИ G 01 M 13/02. Nondestructive Testing of Gear / Robert J. Watts (США). – № 150114, Заявл. 29.01.1988; Опубл. 10.10.1989; НКИ 73/162. – 12 с.
3. Пат. 4261 С2 ВУ, МПК G 01 M 13/02. Способ вибрационной диагностики нагруженности зубьев зубчатых передач при испытаниях / О.В. Берестнев, Н.Н. Ишин, В.Л. Басинюк, Я.О. Берестнев, Я.В. Басинюк. – № а 19980960; Заявл. 21.10.1998; Опубл. 30.12.2001 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. камітэт Рэсп. Беларусь. – 2001. – №4. – С. 171 – 172.

- разработка автоматизированной системы расчета суммарной погрешности обработки.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ

По методике [1] величина суммарной погрешности обработки определяется в общем виде при автоматически настроенных станках

$$\Delta \Sigma = \Delta u + \sqrt{\Delta_{cl}^2 + \Delta_n^2 + \epsilon_y^2}, \quad (1)$$

а при подналадке станков в процессе работы

$$\Delta \Sigma = \Delta u + \Delta_n + \sqrt{\Delta_{cl}^2 + \epsilon_y^2}, \quad (2)$$

где Δ_u – погрешность, обусловленная износом режущего инструмента; Δ_{cl} – поле рассеяния погрешностей обработки, обусловленных такими технологическими факторами случайного характера, как неравномерность припуска неодинаковая твердость материала заготовки, недостаточная жесткость технологической системы, а так же погрешностью формы детали; Δ_n – погрешность настройки станка; ϵ_y – погрешность установки заготовки.

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ РАСЧЕТА СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ

Вопросы представления нормативных таблиц занимают одно из важных мест в автоматизации расчета суммарной погрешности обработки. Поэтому главной задачей является разработка информационно-логических моделей этих таблиц и выбор средств их реализации.

*Мурашко Валентина Семеновна, ст. преподаватель каф. технологии машиностроения Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого.
Беларусь, ГГТУ, 246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.*