

12. Хижняк, В.Г. Физико-химические условия нанесения двухкомпонентных карбидных покрытий в хлорных средах. / В.Г. Хижняк // Изв. Вуз. Чер. Мет. – 1998. – № 7. – С. 6–10.
13. Хижняк, В.Г. Разработка физико-химических и технологических основ нанесения на поверхность сталей и твердых сплавов двухкомпонентных покрытий на основе карбидов переходных металлов для повышения служебных характеристик изделий: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.16.01 / В.Г. Хижняк; Нац. акад. наук Украины. – Киев, 1998 – 24 с.
14. Лоскутова, Т.В. Комплексное насыщение углеродистых сталей и твердых сплавов ниобием и хромом.: автореф. дис. ... канд.техн.наук: 05.16.01/ Т.В. Лоскутова; Киев. политех. ин-т. – Киев, 2004 – 20 с.
15. Кудрявцева, Н.Я. Структурообразование карбидных слоев при многокомпонентном диффузионном насыщении / Н.Я. Кудрявцева, Ю.Н. Громов, В.А. Котофеев // ДЕП. в Черметинформации. – 1991.– 10 с.
16. Громов, Ю.Н. Структура и износостойкость сталей после химико-термической обработки / Ю.Н. Громов, В.А. Котофеев, Н.Я. Кудрявцева // Хим. методы обраб. поверхностей неорган. матер.: тез. докл. 3-го Всес. семинара. – М., 1991. – С. 45.
17. Хижняк, В.Г. Рентгеновские эмиссионные спектры, состав и некоторые свойства покрытий из карбида титана / В.Г. Хижняк, Я.В. Зауличный, О.В. Хижняк // Изв. вузов чер. металлургия. – 1997. – № 11. – С. 75–76.
18. Структура, электронное строение и механические свойства покрытий на основе карбида титана на стали У10А / В.Г. Хижняк [и др.] // Наук. вісті нац. техн. ун-ту України. – 2001. – № 3. – С. 84–90.
19. Новик, Ф.С. Математические методы планирования экспериментов в металловедении. Раздел III / Ф.С. Новик. – М.: МиСИС, 1970. – 106 с.
20. Киреев, В.А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций / В.А. Киреев. – М.: Химия, 1975. – 538 с.
21. Владимиров, Л.П. Термодинамические расчеты равновесных металлургических реакций / Л.П. Владимиров. – М.: Металлургия, 1970. – 528 с.
22. Карапетьянц, М.Х. Основные термодинамические константы неорганических и органических веществ / М.Х. Карапетьянц, М.Л. Карапетьянц. – М.: Химия, 1968. – 471 с.
23. Уикс, К.Е. Термодинамические свойства 65 элементов, их окислов, галогенидов карбидов и нитридов / К.Е. Уикс, Ф.Е. Блок. – М.: Металлургия, 1965. – 276 с.
24. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов / Г.Б. Синярев, Н.А. Ватолин, Б.Г. Трусов, Г.К. Моисеев. – М.: Наука, 1982. – 452 с.
25. Ватолин, Н.А. Термодинамическое моделирование металлургических процессов / Н.А. Ватолин, Г.К. Моисеев, Б.Г. Трусов. – М.: Металлургия, 1994. – 432 с.
26. Дубинин, Г.Н. Диффузионное хромирование сплавов / Г.Н. Дубинин. – М.: Машиностроение, 1964. – 454 с.
27. Земсков, Г.В. Многокомпонентное диффузионное насыщение металлов и сплавов / Г.В. Земсков, Р.Л. Коган. – М.: Металлургия, 1978. – 208 с.
28. Самсонов, Г.В. Некоторые закономерности начальной стадии реакционной диффузии / Г.В. Самсонов, Г.Л. Жунковский // Защитные покрытия на металлах. – Киев, 1974. – Вып. 7. – С. 21–33.
29. Самсонов, Г.В. Тугоплавкие покрытия / Г.В. Самсонов, П.А. Эпик. – М.: Металлургия, 1973. – 399 с.
30. Шатинский, А.Ф. Защитные диффузионные покрытия / А.Ф. Шатинский, А.И. Нестеренко. – Киев: Наук. думка, 1988. – 272 с.
31. Бенсон, С. Термохимическая кинетика / С. Бенсон. – М.: Мир, 1971. – 306 с.
32. Дубинин, Г.Н. Диффузионное хромирование сплавов / Г.Н. Дубинин. – М.: Машиностроение, 1964. – 454 с.
33. Фурман, А.А. Неорганические хлориды / А.А. Фурман. – М. Химия, 1980. – 416 с.
34. Минкевич, А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / А.Н. Минкевич. – М.: Машиностроение, 1965. – 492 с.
35. Взаимодействие углерода с тугоплавкими металлами / В.С. Дергунова [и др.]. – М.: Металлургия, 1974. – 288 с.

Материал поступил в редакцию 04.10.10

SHMATOV A.A. Forming of diffusion Cr-Ti-V carbide coating on steel

For three-component Cr-Ti-V system, optimization of the powder mixtures was performed with respect to the abrasive wear resistance and microhardness of the diffusion carbide coatings, producing by high-temperature (1100°C) thermochemical heat treatment for high carbon steel У8 (0,8 wt.%C). Treatment with optimal compositions of the powder media permit increasing the abrasive wear resistance of steel by the factor of 23–70 as compared with untreated steel. The optimal Cr-Ti-V carbide coating has heterogeneous microstructure containing complex alloyed carbides. New model for forming diffusion Cr-Ti-V carbide coating on steel is proposed on based of thermodynamics and kinetics.

УДК 620.004.5

Драган А.В., Парфиевич А.Н.

МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ ТОКАРНОГО СТАНКА СН-501 ПО ВИБРОАКУСТИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

Введение. В силу высокой чувствительности вибраций и акустического шума механических систем к малейшим изменениям условий их работы в настоящее время при производстве, эксплуатации и ремонте машин и механизмов все чаще применяются методы безразборного контроля и диагностики, основанные на использовании виброакустического сигнала. К настоящему времени получены весьма значительные результаты исследований взаимосвязи различных видов отклонения элементов механических систем от нормы с откликом в виброакустических сигналах, сформулирован ряд диагно-

стических признаков различных видов дефектов, созданы и постоянно развиваются средства проведения виброакустического мониторинга [1, 2, 3, 4]. Вместе с тем нельзя не признать, что в данной области исследований имеется и ряд пробелов, ограничивающих широкое применение виброакустических методов на практике:

- сложность применения известных диагностических признаков при контроле объектов, содержащих большое количество источников виброакустической активности. В результате возникает серьезная проблема, связанная с выделением из анализируемо-

Драган Александр Вячеславович, к.т.н., доцент, декан машиностроительного факультета Брестского государственного технического университета.

Парфиевич Андрей Николаевич, ассистент кафедры технологии машиностроения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

го сигнала лишь той информации, которая необходима для принятия решения;

- большое многообразие различных объектов контроля и диагностики не позволяет создать универсальную методику прикладного уровня, а проведение экспертного анализа в каждом конкретном случае требует высокой квалификации специалиста и больших временных затрат;
- достоверность виброакустической диагностики и мониторинга напрямую связана с возможностями средств контроля. В то же время повышение метрологических и функциональных характеристик последних (использование большого количества каналов, различных видов сигналов, повышение дискретности и разрешающей возможности характеристик, новых способов представления сигналов и т.д.) существенно повышает объем анализируемой информации и усложняет процедуру диагностики [5].

В ходе работ, проводимых в БрГТУ, усилия были направлены на решение данных проблем с учетом отмеченных обстоятельств в ходе разработки и апробации на практике методики и аппаратно-программных средств для проведения мониторинга технического состояния зубчатых колес многовальных приводов.

Методика и объекты исследований. В ходе работы проведен ряд экспериментов на различных по сложности и конструкции объектах. Ниже приведены результаты, полученные при исследовании коробки скоростей привода главного движения универсального токарного станка СН-501 [5]. В ходе работ производилась проверка возможности выявления таких часто встречающихся в процессе эксплуатации подобных приводов погрешностей и дефектов зубчатых колес, как погрешность профиля в результате изготовления или износа и местных эксплуатационных дефектов отдельных зубьев (дефект части зуба и поломка целого зуба) по виброакустическим параметрам без проведения разборки с использованием разработанной методики и аппаратно-программных средств.

Для этого были изготовлены следующие экспериментальные зубчатые колеса для их использования в составе коробки передач универсального токарного станка СН-501:

- шестерня с числом зубьев $z=43$ с модулем 3 мм и закалкой зубьев ТВЧ ($h=0,8...1,2$ мм, HRC 48...52) с систематической погрешностью профиля, смоделированной в процессе изготовления – ведомая шестерня 2-го вала исследуемого участка кинематической цепи;
- шестерня с числом зубьев $z=43$ с модулем 3 мм с нанесенным локальным дефектом рабочей части вершины профиля одного зуба (рис. 1);
- шестерня с числом зубьев $z=43$ с модулем 3 мм с локальным дефектом в виде отсутствия одного зуба (рис. 2);
- блок шестерен $z=38$, $z=35$, $z=32$ систематическими погрешностями зубьев в виде погрешности профиля и увеличенным боковым зазором – ведущая шестерня 2-го вала исследуемого участка кинематической цепи.

Величины смоделированной погрешности профиля соответствовали для всех колес 9-й степени точности по нормам плавности.

Результаты измерений зафиксированы на электронных носителях в виде файлов, содержащих временные характеристики шума, виброускорений, угловых перемещений и подвергнуты обработке программными средствами аппаратно-программного комплекса по реализованным в нем алгоритмам. Характеристики и некоторые возможности методики и аппаратно-программного комплекса, позволяющие упростить процедуру применения диагностических признаков различных дефектов зубчатых колес в составе привода, приведены в [1, 5, 6].

Анализ полученных экспериментальных данных. Установление факта ухудшения состояния привода при установке экспериментальных колес с погрешностью профиля, в целом, не представляет сложностей. Установка на втором валу ведомой шестерни с погрешностью профиля приводит к росту при частоте вращения шпинделя $n=630$ мин⁻¹ общего уровня виброускорений на 6 дБ, шума – на 2 дБ, а

установка дополнительно на втором валу ведущего блока шестерен с погрешностями профиля и увеличенным боковым зазором приводит к росту уровня вибраций на 9дБ и шума на – 7 дБ. Аналогичные изменения происходят и в сигнале угловых скоростей.

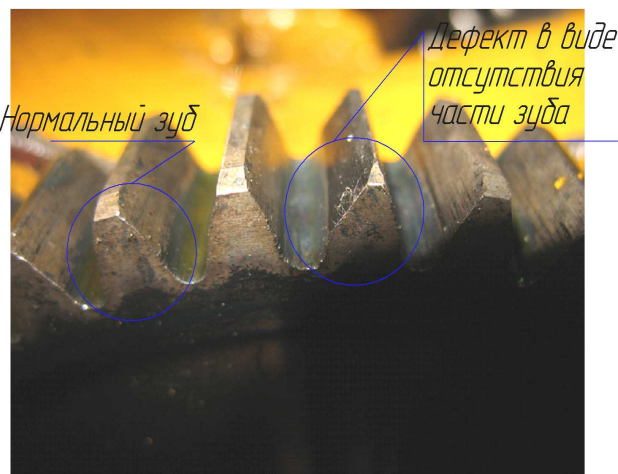


Рис. 1. Экспериментальное зубчатое колесо $z=43$ 2-го вала привода с локальным дефектом в виде отсутствия части зуба



Рис. 2. Экспериментальное зубчатое колесо $z=43$ 2-го вала привода с локальным дефектом в виде поломки зуба

Выявление места расположения дефектной шестерни позволяет получить спектральные характеристики. Общий вид спектра свидетельствует о том, что при наличии как локальных, так и распределенных дефектов появляется значительное количество дополнительных составляющих, анализ которых может быть значительно упрощен посредством использования программы обработки спектральных характеристик. Ее применение позволяет в автоматическом режиме получить значения частот значимых частотных составляющих, создаваемых каждым элементом привода [6].

Наличие погрешности профиля приводит к возникновению на спектре новых частот с относительно высокими амплитудами (рис. 3). Так, на спектре с исправными шестернями можно выделить частоты 395, 548 и 632 Гц (частота вращения шпинделя 400 мин⁻¹), что соответствует частотам пересопряжения зубьев при передаче вращения с 1-го на 2-й, с 3-го на 4-й и с 5-го на 6-й валы. Комбинированные частоты на боковых полосах отсутствуют либо их амплитуды намного ниже отмеченных. На спектре виброускорений привода с дефектной ведомой шестерней второго вала можно отметить рост приблизительно в 2 раза (с 0,75 м/с² до 1,5 м/с²) амплитуд частотных составляющих на частотах пересопряжения зубьев колес первой ступени (около 630 Гц). Также наряду с отмеченными частотами зафиксирован рост комбинированных составляющих, отстоящих друг от друга на 14,6 Гц, что является частотой вращения 2-го вала и

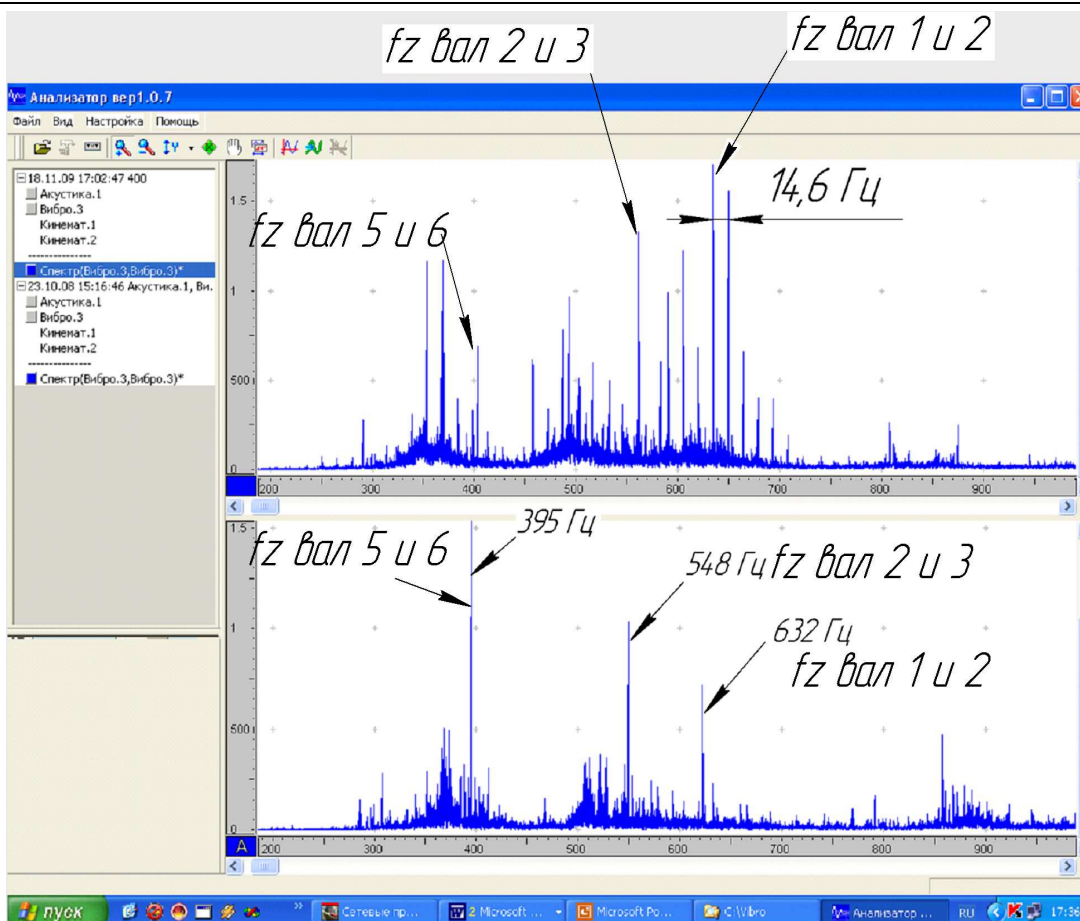


Рис. 3. Спектры виброускорений на корпусе КП при установке на 2-м валу ведомого колеса $z=43$ с погрешностью профиля и исправного (сверху вниз, частота вращения шпинделя 400 мин^{-1})

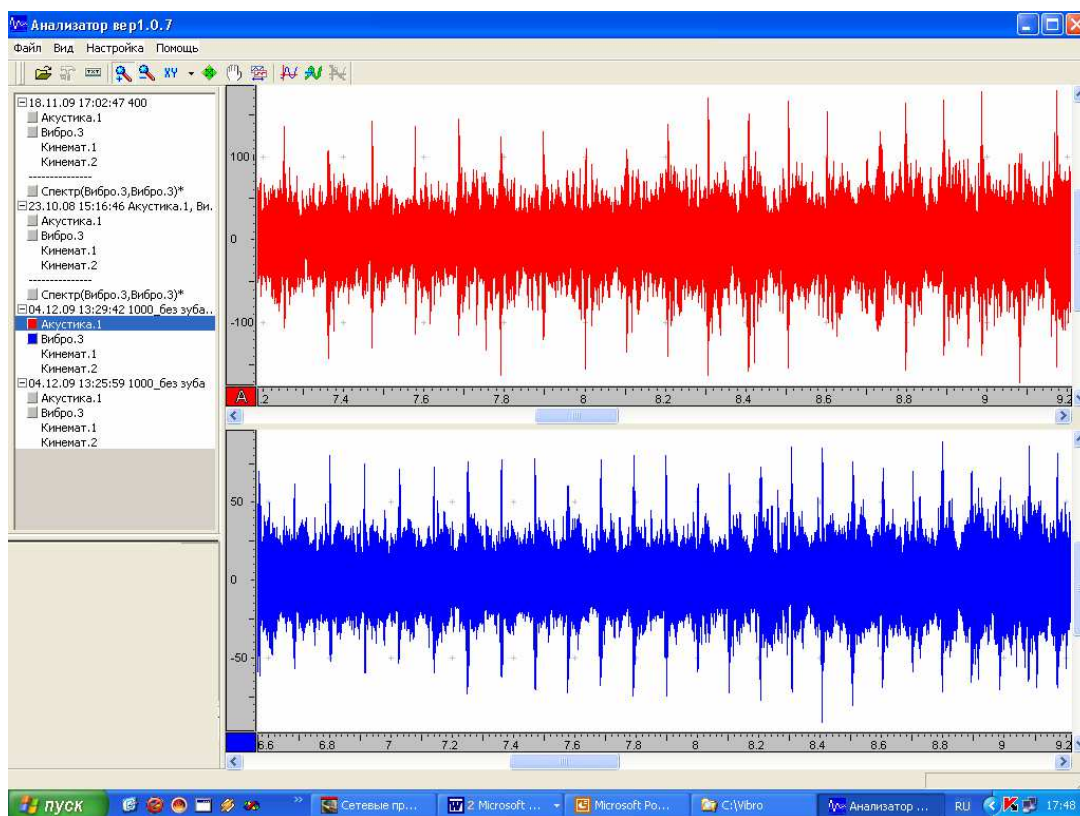


Рис. 4. Сигналы шума и виброускорений (сверху вниз) на корпусе при отсутствии зуба на шестерне $z=43$ 2-го вала привода (частота вращения шпинделя 400 мин^{-1})

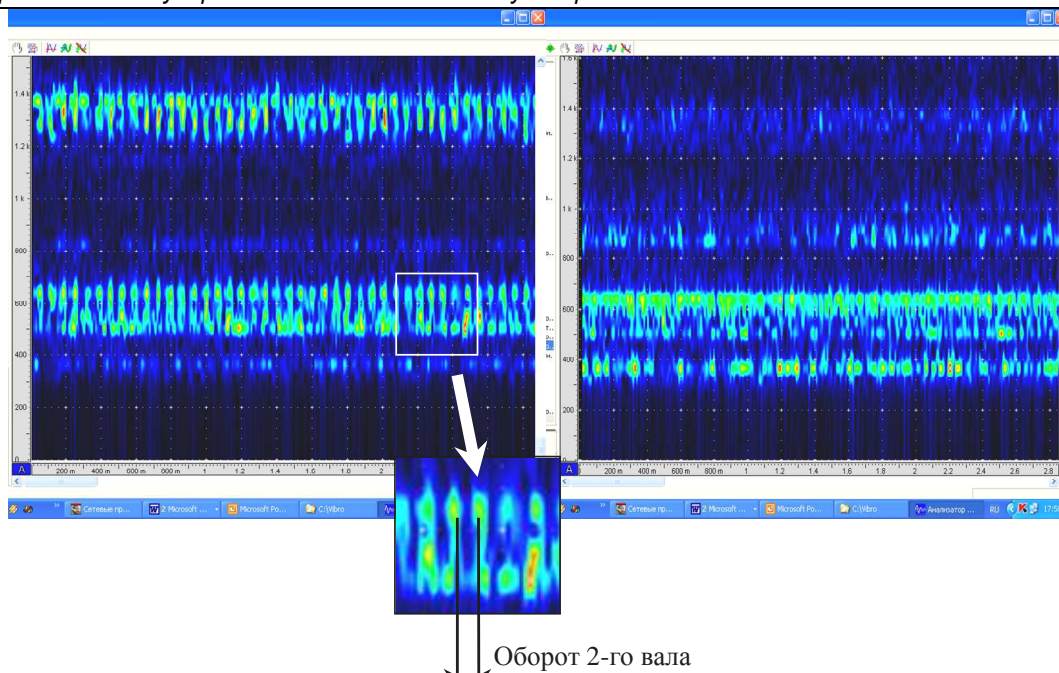


Рис. 5. Время-частотное представление вибрации на корпусе при использовании ведомого колеса $z=43$ 2-го вала привода без зуба и исправного (слева направо) (частота вращения шпинделя 400 мин^{-1})

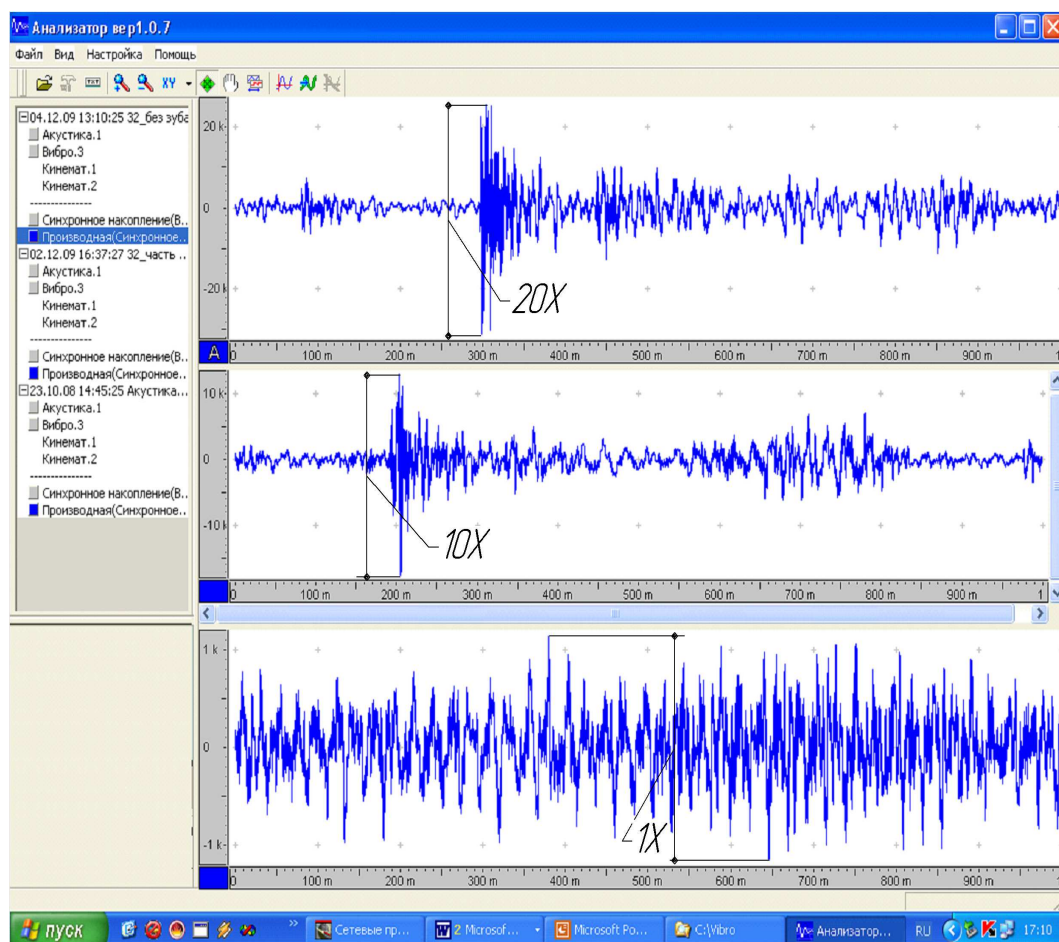


Рис. 6. Вибрационный сигнал (производная виброускорений), создаваемый элементами второго вала с колесом $z=43$ 2-го вала привода без зуба, без части зуба и без дефекта (сверху вниз) (частота вращения шпинделя 400 мин^{-1})

указывает место расположения дефектного элемента. При установке на втором валу и ведущего, и ведомого колес с погрешностями зубьев, боковые полосы, отстоящие друг от друга на величину частоты вращения вала, окружают основные частоты пересопряжения зубь-

ев, как первой, так и второй ступени. Данный факт однозначно подтверждает имеющиеся сведения о диагностических признаках и может быть использован на практике для мониторинга и диагностики технического состояния коробки передач данного станка. Отмечен-

ные закономерности проявляются и в сигналах угловых колебаний и акустического шума.

Проявление **локальных дефектов** отдельных зубьев шестерен привода станка СН-501 также отчетливо прослеживается в виброакустических сигналах. В случае отсутствия части или всего зуба происходит нарушение закономерностей взаимодействия рабочих профилей пары, наблюдающееся за один оборот колеса. Это приводит к периодическому динамическому возмущению вследствие ударного взаимодействия входящих в зацепление зубьев, что проявляется в виде периодических всплесков временной характеристики колебательного процесса с частотой вращения вала. Это достаточно убедительно иллюстрирует график, приведенный на рисунке 4. Из него следует, что динамические возмущения ярко выражены как на характеристиках вибраций, так и шума. Причем в последних на ряде режимов это прослеживается даже более отчетливо.

Также высокую информативность при обнаружении локальных дефектов показал время-частотный анализ посредством преобразования Габора. На рисунке 5 локальный дефект может быть диагностирован при наличии видимых периодических всплесков, характеризующих резкие изменения колебательной энергии, проявляющиеся за один оборот вала.

Расположение дефектов на отдельных валах может быть установлено при сопоставлении частоты импульсов на характеристике с частотами вращения валов коробки скоростей. Установленное по временной оси расстояние между импульсами соответствует длительности одного оборота 2-го вала, на котором установлена дефектная шестерня, что подтверждает расположение дефекта именно на этом валу.

Применение функции синхронного накопления [6, 7] позволило исследовать взаимосвязь степени дефекта и количественного изменения величины отклика в вибрационном сигнале. Установлено, что наиболее явно проявление степени дефекта отражает характеристика, получаемая при дифференцировании сигнала виброускорений, что отражено на рисунке 6. Если при отсутствии дефекта на характеристике резкости сигнала отсутствуют какие-либо всплески, то при отсутствии части зуба всплеск за один оборот не вызывает сомнений, а при отсутствии целого зуба размах характеристики увеличивается более чем на 200% по сравнению со случаем частичного дефекта зуба.

Заключение. Апробация полученных результатов при выявлении ряда смоделированных распределенных и локальных дефектов зубчатых колес в составе многовального натурального объекта показало возможность их практического использования в ходе мониторинга технического состояния зубчатых колес подобных объектов без проведения разборки.

DRAGAN A.V., PARFIEVICH A.N. Monitoring of the technical condition of gears of the drive of the main movement of lathe СН-501 on vibroacoustical parameters

In article experience of use of the developed techniques and means of monitoring of a technical condition of cogwheels on vibroacoustical parameters on an example of a box of speeds of the main movement of universal machine tool SN-501 is considered. Possibility of revealing of some the distributed and local defects of cogwheels drive consisting of a considerable quantity of shaft without dismantling carrying out is shown.

УДК 621.91.002

Медведев О.А., Мелещук М.В.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ ПО РАЗМЕРНЫМ СВЯЗЯМ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Состояние вопроса, цели и задачи исследования. Вопросам базирования деталей при механической обработке уделено большое внимание и посвящено немало специальных научных трудов. Несмотря на это, методики автоматизированного выбора технологиче-

Методика и аппаратно-программные средства, позволяющие упростить процедуру анализа виброакустических характеристик механических приводов, внедрены в БрГТУ для мониторинга технического состояния приводов станочного оборудования механических мастерских. Их использование предполагает осуществление обслуживания приводов станков по фактическому техническому состоянию и снизить вероятность внезапных отказов, связанных с выходом из строя зубчатых колес.

Развитие данных результатов предполагается в ходе дальнейших работ, предусматривающих доведение полученных методик и средств до инженерного уровня, позволяющего внедрить и широко применять их в производственных условиях на предприятиях, занимающихся производством и эксплуатацией зубчатых передач и приводов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Разработка методики оценки качества зубчатых приводов с использованием компьютерной системы оценки качества: Отчет о НИР №ГБ06/615 (промежуточный) / Брестский государственный технический университет; руководитель работы А.В. Драган. – № госрегистрации 20062631. – Брест, 2008. – 67 с.
2. Барков, А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации [Электронный ресурс] / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев – Режим доступа: <http://www.vibrotek.com/russian/articles/book/index.htm>.
3. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Под ред. М.Д. Генкина. – М.: Наука, 1984. – 119 с.
4. Anil Jacob, Y.I. Sharaf-Eldeen Диагностирование зубчатой передачи с помощью нового метода контроля состояния роторного оборудования: перевод с англ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cnt-moscow.ru/ru/bible/vdpksp>.
5. Драган, А.В. Использование новых методов представления колебательных процессов при исследовании зубчатых приводов / А.В. Драган, Ю.Н. Саливончик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2008. – №4: Машиностроение. – С. 44–48.
6. Драган, А.В. Обработка спектральных характеристик колебательных процессов при диагностике и мониторинге многовальных зубчатых приводов / А.В. Драган, Ю.Н. Саливончик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2009. – №4: Машиностроение. – С. 67–72.
7. Ишин, Н.Н. Опыт использования метода синхронного накопления для вибродиагностики трансмиссионных систем автотракторной техники / Н.Н. Ишин, А.С. Скороходов, В.С. Александрова, А.В. Драган [и др.] // Энергосберегающие технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: Доклады Международной научно-практической конференции. – Минск: БГАТУ, 2008. – С. 351–355.

Материал поступил в редакцию 07.10.10

Медведев Олег Анатольевич, к.т.н., заведующий кафедрой технологии машиностроения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Мелещук Максим Владимирович, магистр, инженер по подготовке производства СП ОАО «Брестгазоаппарат».