

Рис. 5. Фрагменты время-частотного представления виброускорений а) на корпусе КП радиально-сверлильного станке 2К52-1; б) на корпусе редуктора на стенде при $n=100\text{мин}^{-1}$

Материал поступил в редакцию 24.09.08

DRAGAN A.V., SALIVONCHIK J.N. USING OF NEW METHODS OF OSCILLATORY PROCESSES REPRESENTATION AT RESEARCH OF GEAR DRIVES

In article results of researches of vibratory and acoustical processes during work of countershaft gear drives with use of the modern hardware-software complex are brought.

Possibilities of the methods of presentation of vibration processes realized in the programmatic system of complex are shown – synchronous accumulation and time-frequency presentation with the use of Gabor transformation and their advantage in comparison to the most widespread methods of analysis of vibratory and acoustical characteristics of gearings.

УДК 621.833.24

Антонюк В.Е., Ишин Н.Н., Скороходов А.С., Новик И.И.

ЗУБЧАТЫЕ КОЛЕСА АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ, ПРОБЛЕМА ИХ ШУМА, ЗУБОШЛИФОВАНИЯ И МОДИФИКАЦИИ

Введение. Снижение шума зубчатых передач автотракторной техники в настоящее время является одной из наиболее актуальных задач в связи с ужесточением и нормированием требований к уровню шума автомобилей и тракторов.

По традиционной технологии до последнего десятилетия практически все зубчатые колеса грузовых и легковых автомобилей, тракторов и сельхозмашин стран СНГ изготавливались без зубошлифования. Требуемая точность зубчатых колес при этом регламентировалась отраслевыми стандартами, которые, с одной стороны, обеспечивали выполнение главного условия по требуемым ресурсам долговечности, с другой стороны, позволяли изготавливать зубчатые колеса на отечественном оборудовании и с использованием отечественных инструментов. Требования к шуму зубчатых передач специальными стандартами не регламентировались, но в случае возникновения необходимости обеспечения лучших показателей по уровню шума, локально применялись такие специфические операции, как зубопритирка, спаривание шевров, подбор пар по уровню шума, отбор пар с пониженным уровнем шума и т.д., однако зубошлифование не применялось.

Отсутствие зубошлифования в традиционной технологии изготовления зубчатых колес отечественных автомобилей и тракторов можно объяснить следующими причинами:

- зубошлифование является относительно дорогостоящей операцией;
- возможности зубошлифования в обеспечении точности зубчатых колес до 5-6 степени точности существенно превышают требо-

вания к точности зубчатых колес автомобилей и тракторов, для которых достаточными являются 7- 8 степени точности;

- зубошлифование удаляет часть самого прочного цементационного слоя на поверхности зубьев, и создается опасность возникновения шлифовочных прижогов, что существенно снижает долговечность зубчатой передачи.

Сложившаяся в автотракторостроении практика применения для тяжело нагруженных зубчатых передач цементируемых и нитроцементируемых марок сталей основана на условии необходимости создания высокопрочного поверхностного слоя и вязкой сердцевины зубьев, что в итоге обеспечивает их высокую контактную и изгибную прочность. Поэтому применение процесса зубошлифования для зубчатых колес автомобилей и тракторов требует дополнительного изучения влияния на долговечность зубчатых передач уменьшения глубины цементационного слоя, определения допустимой величины снятия цементационного слоя, назначения допуска колебания глубины оставшегося цементационного слоя в пределах одного зубчатого колеса, определение влияния и допустимых видов и величины прижогов после зубошлифования.

Все известные методики расчета долговечности и прочности зубчатых передач автомобилей и тракторов базируются на предположении, что после цементации и нитроцементации в дальнейших операциях техпроцесса не происходит изменений глубины и свойств цементационного слоя.

Таким образом, до введения в техпроцессы изготовления рассматриваемой группы зубчатых колес зубошлифования должны

Антонюк Владимир Евгеньевич, д.т.н., ведущий научный сотрудник ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси».

Ишин Николай Николаевич, к.т.н., доцент, зав. отделом ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси».

Скороходов Андрей Станиславович, к.т.н., старший научный сотрудник ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси». Беларусь, 220072, г. Минск, ул. Академическая, 12.

Новик Игорь Иванович, начальник КБ РУП «Минский завод колесных тягачей».

Беларусь, 220021, г. Минск, пр-т Партизанский, 150.

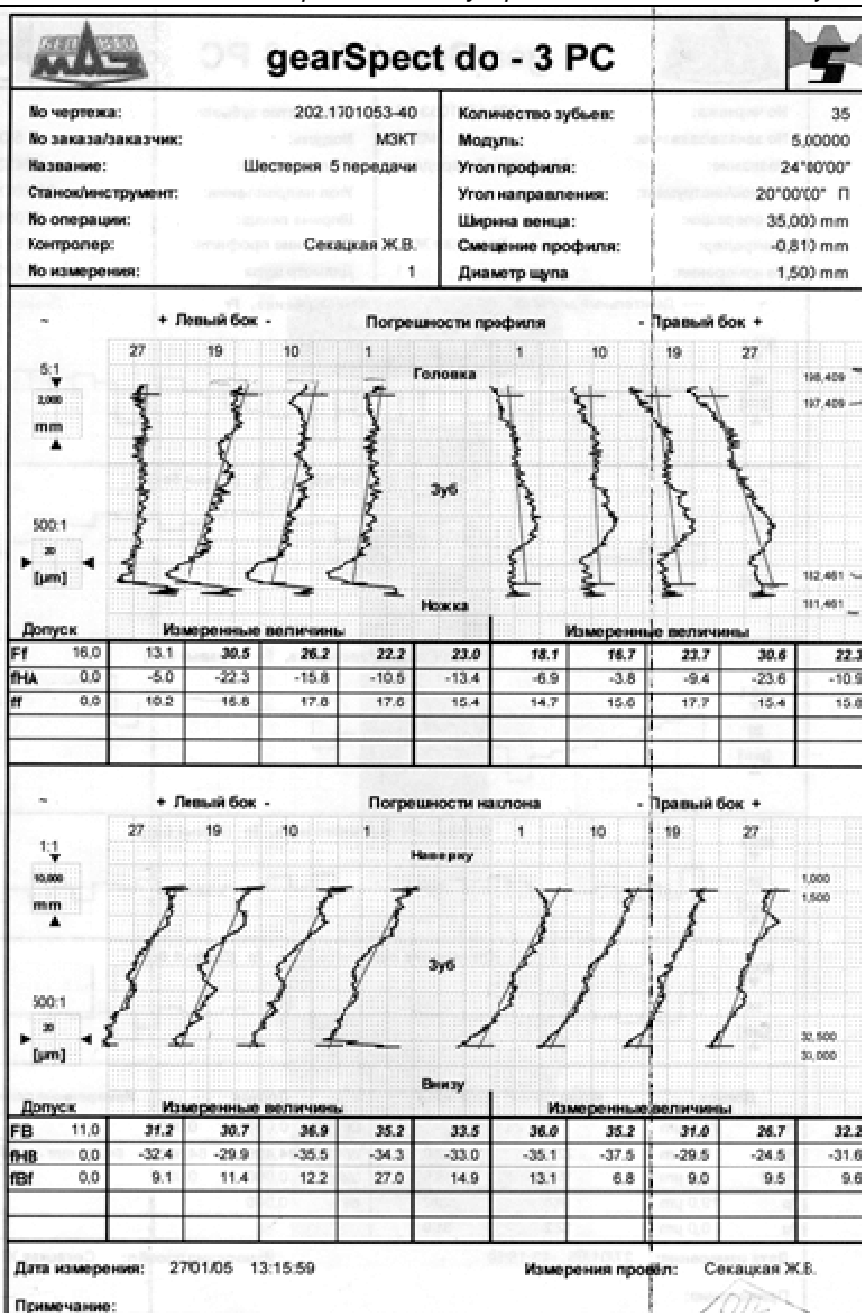


Рис. 1. Карта поэлементного контроля зубчатого колеса Z=35

быть решены следующие принципиальные вопросы:

- определено допустимое изменение глубины и свойств цементационного слоя при зубошлифовании;
- определен максимально допустимый припуск при зубошлифовании, это требование должно быть указано в каждом чертеже для каждого конкретного зубчатого колеса;
- определено влияние изменения глубины и свойств цементационного слоя на долговечность путем проведения стендовых и эксплуатационных испытаний зубчатых колес с зубошлифованием и установлен фактический ресурс их долговечности;
- выбраны допустимые режимы процесса зубошлифовании и средства контроля, обеспечивающие требуемую глубину и свойства цементационного слоя;
- регламентированы методы и средства контроля шлифованных автотракторных зубчатых колес так, как это сделано при зубошлифовании зубчатых колес для железнодорожного транспорта, где имеются соответствующие стандарты.

Следует отметить, что проблема шума зубчатых передач не решается с введением в перечень показателей приемки зубчатой передачи (коробки передач) такого требования, как необходимость обеспечить уровень шума, например, не более 80 или 85 dBA, без предварительной серьезной конструкторской и технологической проработки каждой конкретной зубчатой пары. С целью определения для конкретной зубчатой передачи допустимого уровня шума Минским ПКТИ в свое время был разработан соответствующий стандарт для предприятий Минтракторосельхозмаша, который отвечал на все вопросы и позволял грамотно и обосновано определять тот допустимый уровень шума, который можно требовать при изготовлении конкретной передачи. Большинство предприятий, для которых важна проблема шума зубчатых передач, просто не знает, на каком техническом уровне спроектированы и изготавливаются их зубчатые передачи, и соответственно, какой уровень шума можно требовать от этих передач.

Однако у ряда предприятий складывается мнение, что все проблемы шума зубчатых передач будут решены с введением зубошлифовании. К сожалению, ни одно из этих предприятий не может

Таблица 2. Точность исследуемой зубчатой пары

Нормы точности	Обозначение	Допуск для степени 8-7-7	Фактическая точность зубчатых колес			
			202-1701132-40		202-1701053-40	
			мм	степень	мм	степень
Накопленная погрешность	F_D	0,090	0,1469	10	0,0420	6
Радиальное биение	F_r	0,071	0,1247	10	0,0289	6
Погрешность профиля зуба	f_f	0,016	0,0233	9	0,0306	10
Погрешность направления зуба	F_B	0,011	0,0571	11	0,0369	10
Итоговая точность			10-9-11		6-10-10	

показать, что проведенные экспериментальные процессы зубошлифования обеспечили достаточно убедительное снижение уровня шума. Имеются примеры и совершенно обратного действия зубошлифования. Так, Ярославский моторный завод изготавливает зубчатые колеса для коробок передач МАЗа по традиционной технологии: зубофрезерование-зубошевингование-термообработка. Минский завод колесных тягачей изготавливает зубчатые колеса этой же коробки передач по технологии: зубофрезерование-термообработка-зубошлифование. Основной проблемой Минского завода колесных тягачей при приемочных стендовых испытаниях этой коробки является шум зубчатых колес.

Таким образом, проблема шума зубчатых передач не решается автоматически с введением зубошлифования. Выполнение условий и требований по уровню шума зубчатой передачи может быть только следствием одновременной модификации конструкции и технологии изготовления каждой конкретной зубчатой передачи.

Можно также отметить, что отечественное машиностроение не знакомо с принципами модификации профилей зуба для снижения шума, а научно-исследовательские институты практически самоустранились от решения этой проблемы. Недостатком сегодняшнего конструкторского проектирования зубчатых передач в Белоруссии является крайне ограниченное применение современных модификаций профилей зубьев. В то же время практически все зарубежные чертежи зубчатых колес имеют модификации профилей зубьев, которые позволяют решать проблемы шума, компенсировать погрешности монтажа и в конечном итоге обеспечивать и долговечность, и требования по шуму передачи.

Из вышеизложенного следует вывод, что ужесточение степени точности и применение зубошлифования зубчатых колес следует производить только тогда, когда:

- полностью выполняются технические требования ГОСТов при изготовлении зубчатых колес заданной точности и полностью исчерпаны все конструкторские и технологические методы обеспечения повышения качества зубчатой передачи;
- применение ужесточенной степени точности зубчатых колес подтверждено результатами испытаний и гарантирует улучшение качества всего изделия;
- применение ужесточенной степени точности зубчатых колес основывается на соответствующем ужесточении точности изготовления корпусных деталей, подшипников, условий монтажа, базирования и наличии для этих целей соответствующих средств контроля.

Методика исследования. Для оценки влияния введения обычного зубошлифования на снижение шума зубчатых передач нами совместно с заводскими специалистами были проведены исследования шума зубчатых передач, изготовленных с применением зубошлифования на Минском заводе колесных тягачей.

По субъективным оценкам шума коробки передач 65151 было установлено, что определяющий вклад в общий уровень шума коробки вносят зубчатые колеса 5-ой передачи, в связи с чем все дальнейшие исследования шума проводились для зубчатых пар этой передачи.

Для проведения исследований была отобрана партия зубчатых колес 5-ой передачи (202-1701132-40 и 202-1701053-40), для которых были проведены измерения всех точностных параметров на измерительной машине на «GearSpect do -3Pc» (рисунок 1) с после-

дующей оценкой спектра шума на универсальном испытательном стенде с разомкнутым силовым контуром в ОИМ НАН Беларуси.

Основные чертежные параметры зубчатых колес 5-ой передачи зубчатых колес 202-1701132-40 и 202-1701053-40 приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры зубчатых колес 5-ой передачи коробки передач 65151

Обозначение зубчатого колеса	202-1701132-40	202-1701053-40
Модуль нормальный	5	5
Число зубьев	26	35
Угол наклона, град.	20	20
Направление линии зуба	левое	правое
Угол профиля, град	24	24
Степень точности	8-7-7-Сд	8-7-7-Сд

Результаты измерения точностных параметров одной из исследуемых зубчатых пар приведены в таблице 2.

Пятно контакта в передаче после обкатки под нагрузкой имело вид, представленный на рисунке 2.

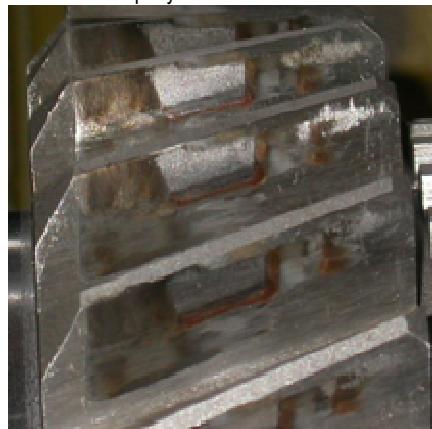


Рис. 2. Пятно контакта ведомой шестерни зубчатой пары

Дефекты пятна контакта являются результатом целого комплекса погрешностей, к которым можно отнести:

- погрешности станка, которые могут приводить к неравномерному отжиму шлифовального круга и соответственно к разрыву пятна контакта;
- шлифовка впадины зубьев, причем не по всей длине, а с некоторой конусностью;
- неоднократная правка шлифовального круга при обработке одной шестерни, что приводит к разным пятнам контакта на соседних зубьях;
- неправильный контроль погрешности направления зуба, что приводит к выходу пятна контакта на торцевую кромку;
- погрешность базирования шестерни (торцевое биение), что приводит к «бегающему» пятну контакта по длине зуба;
- контроль направления зуба не имеет технологического оснащения, а производимый контроль на приборе УИМ-21 в цеховых условиях является некорректным.

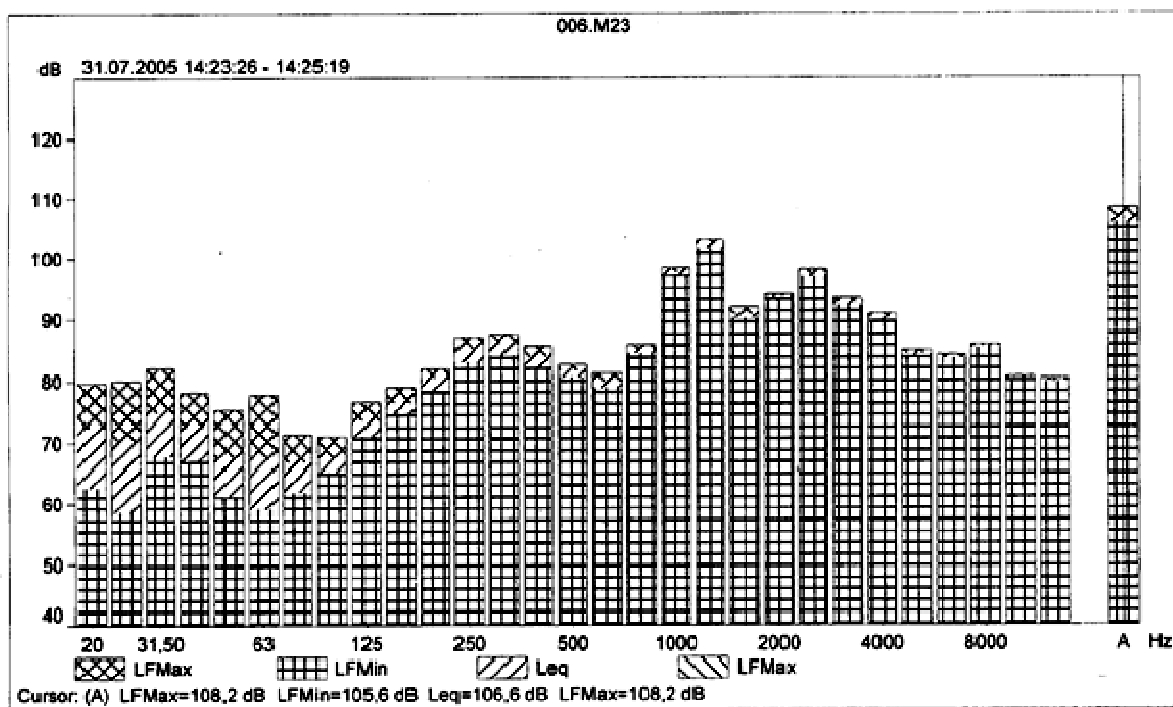


Рис. 3. Спектр шума зубчатых колес 5-ой передачи

Результаты исследований и их анализ. Таким образом, было установлено, что практически все зубчатые колеса 5-ой передачи, изготовленные с применением обычного зубошлифования, соответствуют примерно степени 7-10-10 вместо установленной степени 8-7-7. Такое положение позволяет сделать следующую оценку эффективности применения зубошлифования:

- зубошлифование позволяет эффективно исправлять такую погрешность, как радиальное биение F_r и достигать 6-7 степеней точности при установленной 8-ой;
- зубошлифование не обеспечивает требуемую точность по погрешности профиля зуба и вместо 7-ой степени достигается только 10-я;
- зубошлифование не обеспечивает требуемую точность по погрешности направления зуба и вместо 7-ой степени достигается только 10-я;
- наибольшее отклонение от требуемой точности имеются по нормам пятна контакта, которые фактически находятся в пределах 10-11 степени точности вместо требуемой 7-ой степени;
- повышенные отклонения погрешности направления зуба и профиля зуба, которые приводят к таким дефектам пятна контакта, как разрывы пятна контакта по длине и по высоте зуба, резкий выход пятна контакта на верхнюю и торцевую кромки, «бегающее» пятно, значительное отличие пятен контакта двух соседних зубьев.

Эти выводы полностью подтвердились после монтажа зубчатой пары на стенде и обкатке под нагрузкой.

На рисунке 3 приведен спектр шума при частоте вращения ведущей шестерни 1500 мин^{-1} и тормозном моменте на ведомой шестерне 9 кгм .

В таблице 3 приведены значения уровня шума на характерных частотах зубцовой f_z и двойной зубцовой $2f_z$.

По ГОСТ 1643-81 показателем точности профиля является f_{fr} - погрешность профиля зуба, которая допускает любую форму зуба в пределах допуска на погрешность профиля зуба. В пределах поля допуска f_{fr} можно изготавливать годные шестерни как с увеличенной, так и с уменьшенной толщиной зуба на головке зуба. Для обычных зубчатых передач такая погрешность профиля зуба не оказывает существенного влияния.

Для зубчатых передач, работающих при больших частотах вращения и с повышенными требованиями к уровню шума – такое профилирование формы зуба приводит к повышенному шуму.

По стандарту DIN показателем точности профиля является f_f - погрешность формы профиля зуба, $f_{H\alpha}$ - погрешность угла профиля (рис. 4).

Поле допуска f_f определяет только погрешность формы зуба, а поле допуска $f_{H\alpha}$ определяет отклонение угла исходного контура. В зависимости от направления поля допуска $f_{H\alpha}$ можно целенаправленно задавать утолщение или утонение профиля на головке зуба для получения благоприятной формы профиля.

Как известно, утолщение профиля зуба на головке зуба всегда приводит к увеличению шума, а утонение – наоборот к снижению уровня шума.

Поэтому в системе DIN имеется возможность в пределах допускаемой погрешности профиля зуба задать направление этой погрешности с целью улучшения показателей шума или плавности работы.

На рисунке 5 представлен пример модификации профиля зуба, требование по которой является составной частью конструкторской документации для современных зубчатых колес.

Таким образом, с позиций выполнения требований снижения уровня шума просто введением зубошлифования является недостаточным, так как снижение шума при зубошлифовании, как показывает мировая практика, обеспечивается в первую очередь введением модификаций профиля зуба.

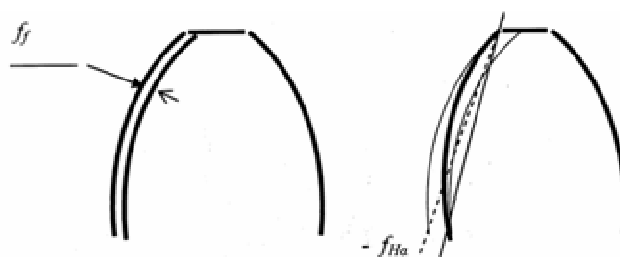


Рис. 4. Погрешность профиля зуба по DIN

Основные особенности модификации профиля зуба, выполняемой в современных зубчатых колесах, состоят в следующем:

Таблица 3. Уровень шума зубчатых колес 5-ой передачи при $n_1=1500 \text{ мин}^{-1}$

№ зубчатого колеса	Фактическая точность	Уровень шума, дБ (дБА)					
		Без нагрузки			Под нагрузкой		
		f_z	$2 f_z$	$L_{\text{общ}}$	f_z	$2 f_z$	$L_{\text{общ}}$
202-1701053-40	6-10-10	80	78	91,4	86	92	108,2
202-1701132-40	10-9-11						

- профиль на головке зуба имеет плавное занижение от теоретической эвольвенты,
- профиль на середине зуба соответствует теоретической эвольвенте,
- профиль на ножке зуба имеет плавное занижение от теоретической эвольвенты,
- на всех трех вышеперечисленных участках устанавливаются различные поля допусков на погрешность профиля.

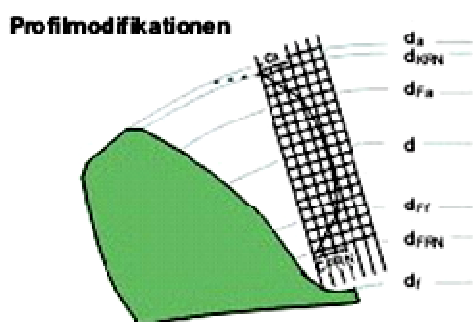


Рис. 5. Модификация профиля зуба

Для получения такого профиля необходимо решить несколько конструкторских и технологических задач. К конструкторской задаче относится определение величины модификации на головке и ножке зуба исходя из величины передаваемых нагрузок, частоты вращения, коэффициента перекрытия передачи, жесткости корпуса и подшипниковых опор, погрешностей монтажа конкретной передачи.

К технологической задаче относится проектирование соответствующего профиля зуба инструмента для предварительного и окончательного получения модифицированного профиля.

Заключение

- проблема шума зубчатых передач не решается автоматически с введением зубошлифования;
- в отечественных чертежах зубчатых колес отсутствуют требования к модификации профиля зуба с целью улучшения плавности работы и снижения уровня шума передачи;
- обеспечение погрешности профиля зуба в соответствии с требованиями ГОСТ может приводить к получению нежелательной формы зуба и как следствие – к повышенному шуму;
- решение проблемы снижения шума цилиндрических зубчатых передач возможно за счет применения специальных модифицированных профилей зубьев, что уже широко используется в производстве современных зарубежных зубчатых передач.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Антонюк В.Е. Тенденции современного производства зубчатых колес // Инженерный журнал. Справочник. Приложение №12. – 2004. – С. 2-15.
2. Gleason Pfafter. Высокоэффективное производство цилиндрических зубчатых колес. Симпозиум VDW в Москве 10-11 ноября 2004.
3. Liebherr Verzahntechnik GmbH. Мер А. Шлифование на станках модели LCS 200 и 300 фирмы «Либхерр». Симпозиум VDW в Москве 10-11 ноября 2004.
4. Türic A. Abrichten zylindrischer Schleifschnecken mit diamantbelegten Abrichträdern // IDR Archiv.Ausgabe - 2004. - №2.
5. Werkzeugmaschinen und Fertigungssysteme aus Deutschland // VDW 23. Ausgabe / 2003.
6. Проспект фирмы Samputensili „Verzahnungstechnologie“, „Dienstleistungen zur Verzahnungstechnologie“, „Profilschleifmaschinen S375G, S375GX, S500GI“, 2005.

Материал поступил в редакцию 28.06.08

ANTONUIK V.E., ISHIN N.N., SKOCHORODOV A.S., NOVIK I.I. GEAR WHEELS OF AUTOMOBILES AND TRACTORS, PROBLEM OF THEIR NOISE, TEETH OF GRINDING AND UPDATING

Clause shines a number of problems connected to questions of designing and manufacturing of gear wheels to application of operation teeth of grinding and updating of structures of a tooth for decrease of noise.

For an estimation of influence of introduction the usual teeth of grinding on decrease of noise of gear transfers was carried out researches of noise of gear pairs made with application teeth of grinding on Minsk a factory of wheel tractors. The results of researches of accuracy and noise of the specified gear transfers are resulted, the estimation of quality of their manufacturing is given and analyze problems of existing technical process at the Minsk factory of wheel tractors. On the basis of the analysis of parameters of accuracy of a structure of a tooth the introduction of his updating is offered.

УДК 620.169.2.

Ишин Н.Н., Гоман А.М., Скороходов А.С.

ВИБРОМОНИТОРИНГ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Введение. Одним из путей сокращения непроизводительных расходов при эксплуатации изделий машино- и станкостроения является переход от планово-предупредительной системы обслуживания оборудования и машин к обслуживанию по их фактическому состоянию. По данным публикации [1], при использовании системы планово-предупредительных ремонтов до 25% двигателей внутреннего сгорания направляются в ремонт с недоиспользованным ресурсом, а 10-15% в предаварийном, непригодном для ремонта состоянии. Исключение необоснованных сборочно-разборочных работ позволяет сохранить 6-10% ресурса машины (за счет исключения нового цикла приработки после разборки), помимо этого сокращают-

ся трудозатраты на проведение таких работ. Приведенные примеры говорят о том, что техническое обслуживание машин и механизмов необходимо вести по их фактическому состоянию. Поэтому разработка эффективных аналитических и методико-инструментальных средств оценки технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса машин и механизмов является важной и актуальной задачей машиностроителей и ученых в области технических наук.

Решению указанных проблем посвящены исследования крупнейших научных центров и ведущих зарубежных фирм. К ним относятся: Институт машиноведения Российской Академии наук, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,

Гоман Аркадий Михайлович, к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», Беларусь, 220072, г. Минск, ул. Академическая, 12.