

Вибродиагностика изнашивания червячного зацепления

06, июнь 2017

Андриенко Л. А., Журиков М. Ю.

УДК: 621.83

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

la-andr2017@yandex.ru

max.zhurikov@icloud.com

Введение

В настоящее время на многих предприятиях практикуется процедура планово-предупредительных ремонтных работ, что уменьшает вероятность аварий. Однако эти работы предполагают полную или частичную разборку оборудования, что вносит новые непредвиденные дефекты: перекосы осей, нарушение приработки, загрязнения и др. Все это потребует новых ремонтных работ. Поэтому важно проводить безразборный контроль технического состояния оборудования, а предупредительные ремонтные работы проводить не по плану, а по мере необходимости в соответствии с техническим состоянием.

Для оценки и прогнозирования технического состояния разного рода машин наибольшее распространение получили методы вибродиагностики, как наиболее чувствительные к различным отклонениям их технического состояния от нормы.

1. Экспериментальное исследование изнашивания червячного зацепления

Как показано в работе [1] к числу наиболее перспективных направлений исследований в области вибродиагностики является использование в качестве исходной информации, полученную в результате анализа сигнала углового движения выходного вала (крутильной составляющей вибросигнала). Этот метод может быть использован как стационарный – для мониторинга, так и для экспресс–диагностики (в полевых условиях) многих механизмов вращательного движения (роторного типа).

Как известно, основной причиной выхода червячных передач (ЧП) из строя является изнашивание зубьев червячного колеса и, в меньшей степени, червяка, а также подшипников [2, 3]. Поэтому актуальной является задача определения технического состояния ЧП в результате изнашивания и прогнозирования остаточного ресурса.

Рассматривались червячные редукторы МЧ40-30 с разной величиной износа червячного колеса (червяк и подшипники практически не изнашивались).

Поставленная задача решалась на базе экспериментальных данных, полученных на

испытательном стенде в лаборатории кафедры «Основы конструирования машин» МГТУ им. Н.Э. Баумана, схема которого показана на рис. 1, а и фото – на рис.1, б.

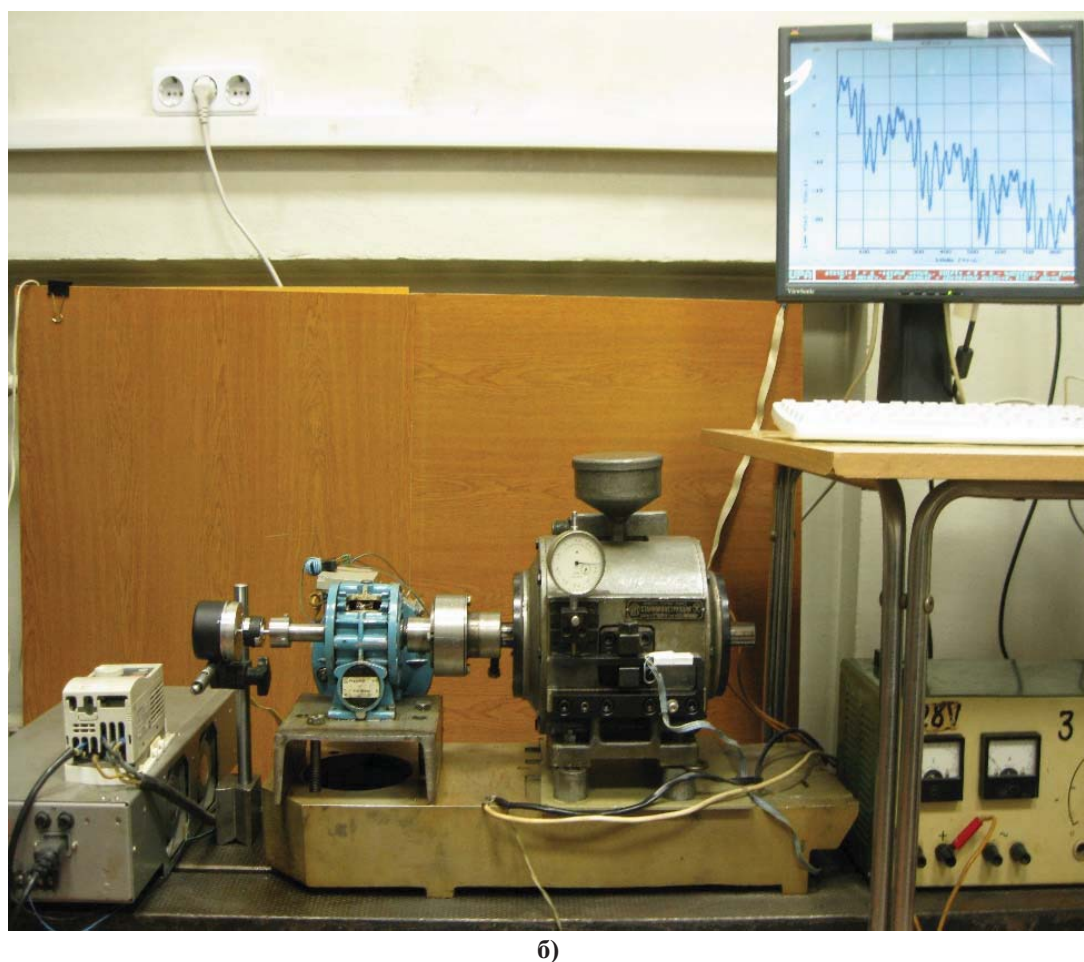
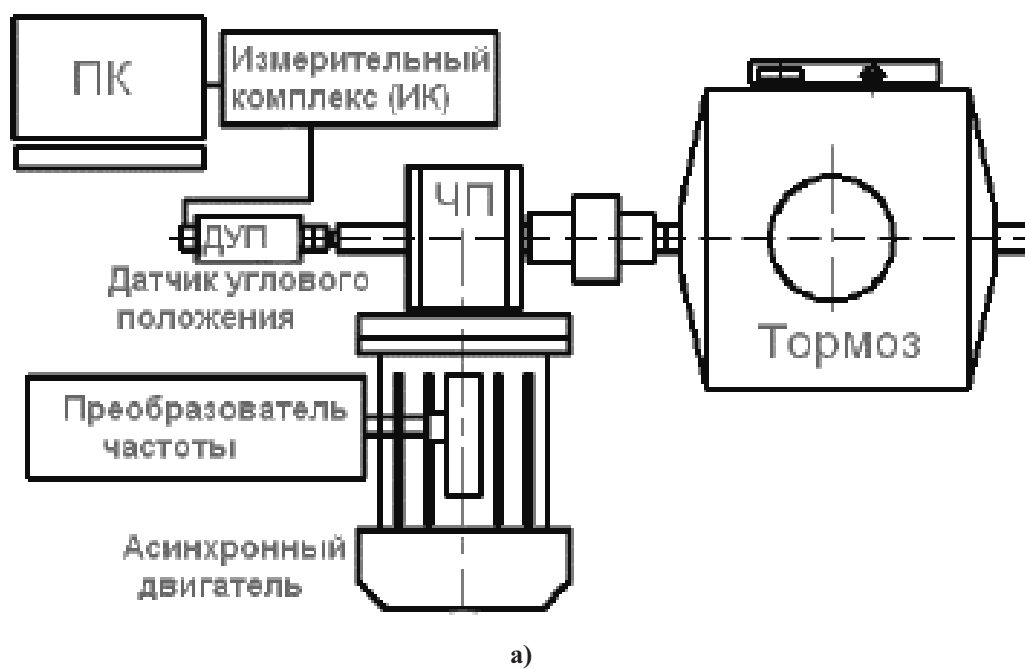


Рис. 1. Схема (а) и фото (б) экспериментального стенда

Стенд состоит из асинхронного электродвигателя (ЭД), частота его вращения может изменяться при помощи частотного преобразователя; испытуемого червячного мотор-редуктора, измерительного комплекса. В состав измерительного комплекса входит персональный компьютер (ПК) со встроенной специализированной интерфейсной платой, а также датчик углового положения (ДУП), соединенный с тихоходным валом ЧП. В качестве нагружающего устройства используется порошковый электромагнитный тормоз.

Типоразмер порошкового электромагнитного тормоза выбирался в соответствии с ГОСТ 29285 в зависимости от типоразмера испытуемого червячного редуктора и обеспечения точности его нагрузки.

Перед испытанием порошковый тормоз был тарирован. Тарировочный график показан на рис.2. Нагрузочная и разгрузочная ветви зависимости тормозного момента от показаний индикатора, установленного на динамометрической пружине тормоза (крутильной жесткости) практически совпали, поэтому связь показаний индикатора i с моментом T можно аппроксимировать с высокой точностью общей зависимостью:

$$T = 0,209 \cdot i + 0,15 \text{ (Нм)}$$

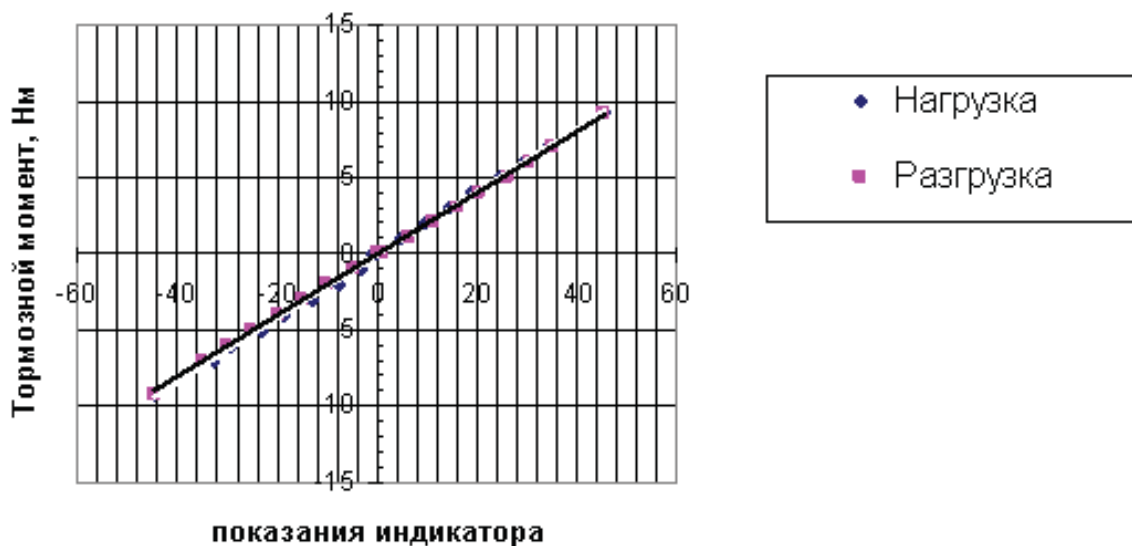


Рис. 2. Тарировочный график порошкового тормоза ПТ – 6М

2. Анализ результатов

Фрагмент временных вибросигналов, снятых ДУП, показан на рис.3 в зависимости от степени изнашивания червячного колеса ($\delta\phi$ – амплитуда вибросигнала), а на рис. 4 приведены амплитудно-частотные спектры этих сигналов для редуктора МЧ40-30. Сплошной линией (1) показан вибросигнал для новой неизношенной ЧП, точками (линия 2) - вибросигнал ЧП с 10% износом (отношение величины износа к модулю зацепления $h_n/m=0,1$), пунктирной линией (3) – для ЧП с 90% износом ($h_n/m=0,9$).

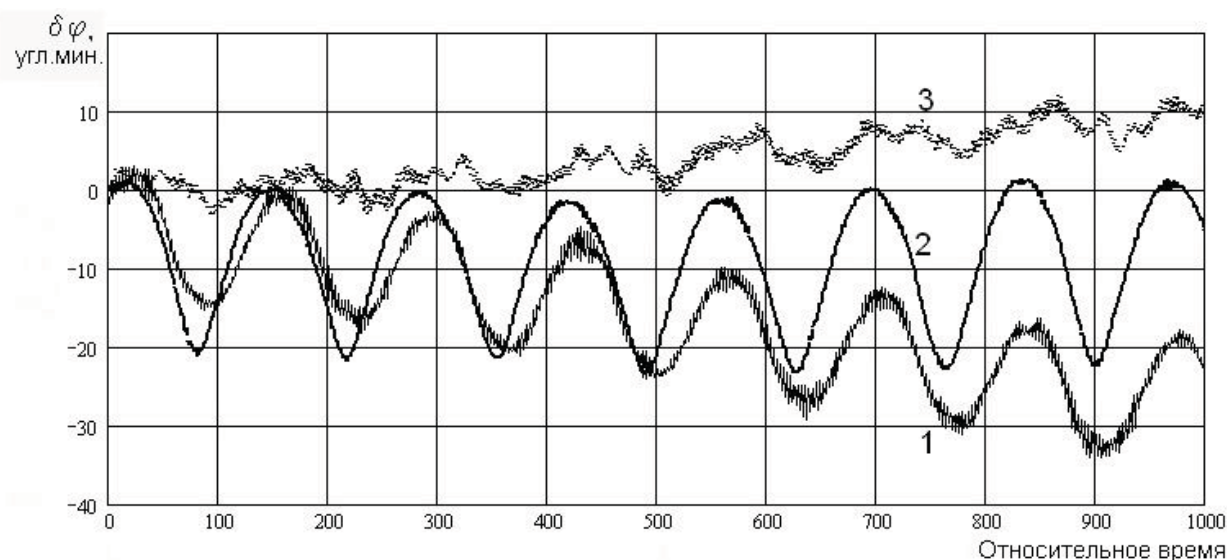


Рис. 3. Фрагменты вибросигналов с ДУП для ЧП с разной величиной износа

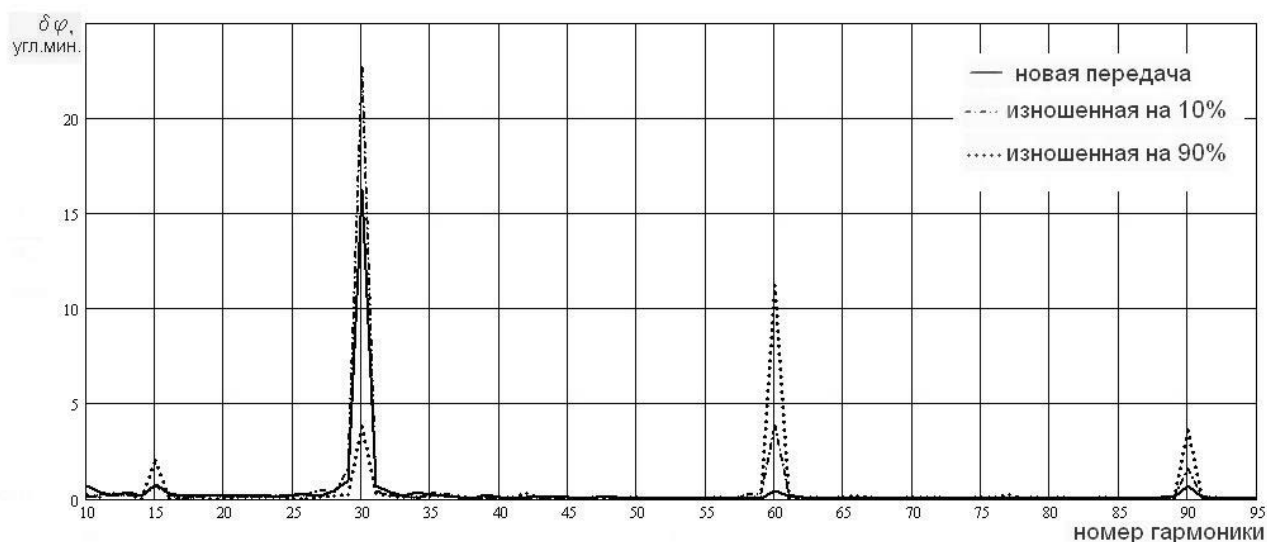


Рис. 4. Амплитудно-частотный спектр вибросигналов с ДУП для ЧП с разной величиной износа

Из рисунков видно, что амплитуда зубцовой гармонической составляющей f_z (в нашем примере 30-я гармоника), а также амплитуды на частотах кратных зубцовой с увеличением величины износа растут. Однако, когда величина износа достигает критического значения (90%), амплитуда зубцовой частоты уменьшается и появляется частота $0,5f_z$, которая является основным признаком износа и свидетельствует о нарушении режима смазки.

3. Экспериментальное определение шума червячных редукторов

Одной из важных технических характеристик приводов с механическими передачами, в том числе и с ЧП, является уровень шума. По мере увеличения изнашивания червячного зацепления уровень шума передачи увеличивается, поэтому необходимо прогнозировать изменение шумовых характеристик ЧП при эксплуатации в конкретных условиях.

Для проектирования звукопоглощающих конструкций приводов необходимо знать суммарный уровень звуковой мощности, а также уровень звукового давления в октавных или третьоктавных полосах частот и изменение этих параметров в процессе эксплуатации из-за изнашивания ЧП [4, 5].

Так, например, для приводов общего назначения, но установленных в производственных помещениях, необходимость установки звукопоглощающих конструкций зависит от превышения уровня звукового давления по сравнению с нормой, которое составляет 3 дБ или 5 дБ хотя бы в одной из третьоктавных или октавных полос соответственно в отраженном поле и 1 дБ, и 3 дБ – соответственно на рабочих местах [4].

В нашем эксперименте шум измерялся шумомером ВШВ - 003 с пределами измерений 25...140 дБ в соответствии с ГОСТ Р 52895-2007, а также измерение шума проводилось с помощью направленного микрофона. Поскольку нас интересует отличие в излучении шума изношенного и нового редуктора, а не абсолютное значение уровня шума, то место установки микрофона выбиралось подбором с точки зрения наибольшей чувствительности и большей помехозащищенности.

Измерения проводились при эксплуатационной частоте вращения, номинальной нагрузке, рабочей температуре редуктора и рекомендуемом количестве смазочного материала.

На рис. 5 показан фрагмент огибающей спектра мощности шума L в децибелах (дБ) для ЧП с разной величиной износа: сплошная линия – новая передача, точки – 40% износа, пунктир – 60% износа. На рис. 6 показано изменение уровня шума L в децибелах по шкале А (дБА) в октавных полосах частот по мере изнашивания ЧП. За нулевую отметку принят уровень шума во всем частотном диапазоне новой ЧП.

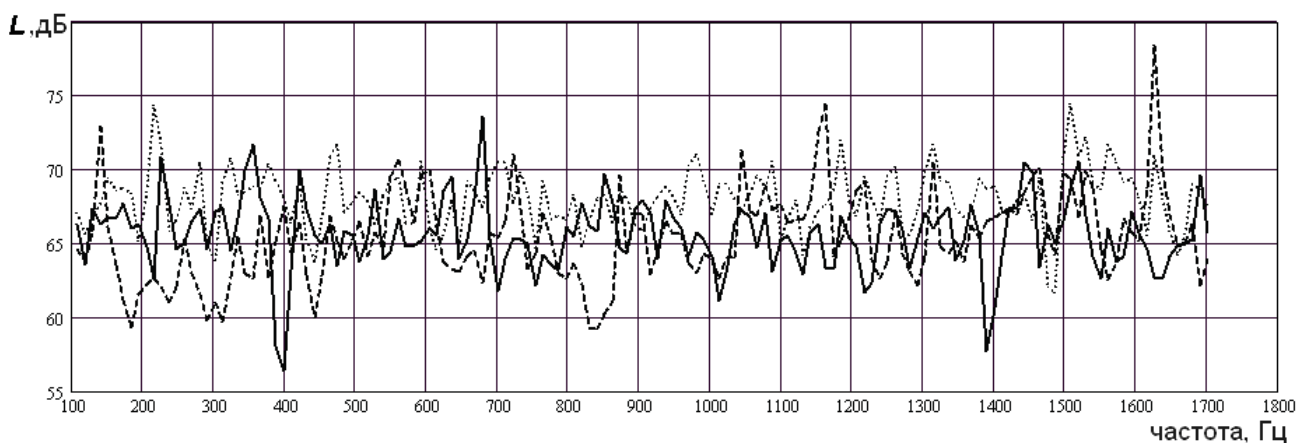


Рис. 5. Фрагмент огибающей спектра шума для ЧП с разной величиной износа

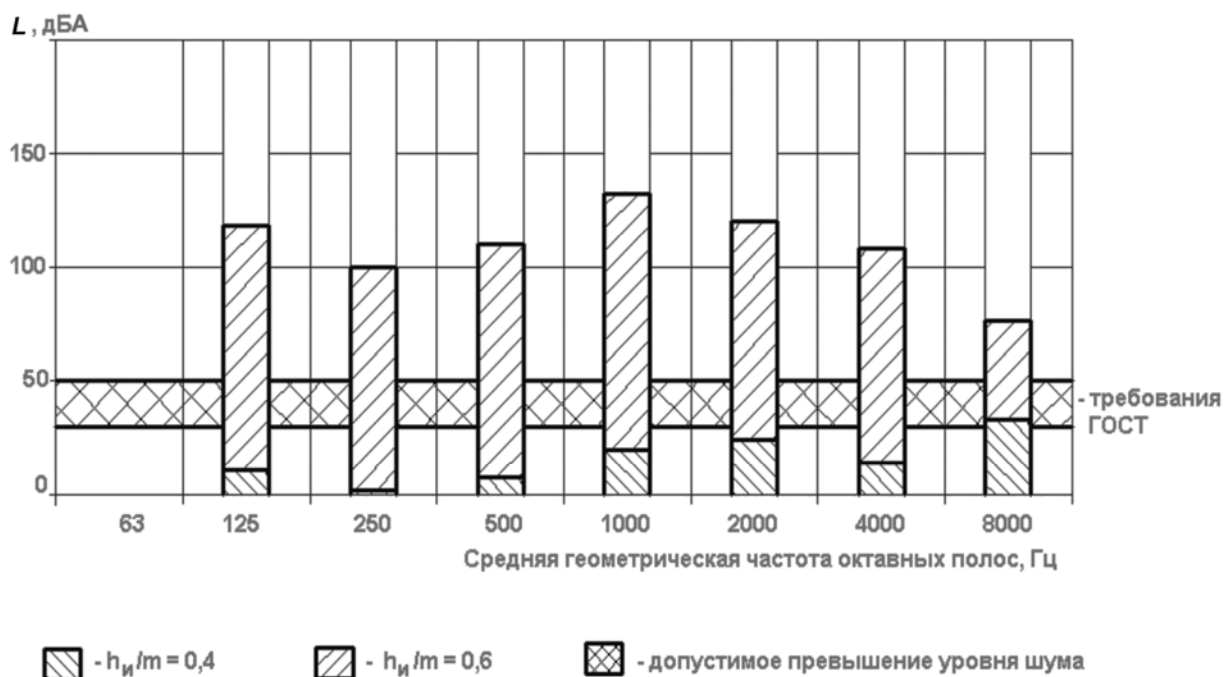


Рис. 6. Изменение уровня шума в октавных полосах частот по мере изнашивания ЧП

Как видим, у изношенного на 60% редуктора уровень шума, в особенности в среднем диапазоне частот на 10-15 дБ выше, что может быть недопустимым в некоторых приводах, например, для приводов стендового оборудования.

По этим данным можно определить величину предельного износа, прогнозировать величину увеличения шума по мере изнашивания ЧП, т.е. время, когда произойдет превышение соответствующих норм по шуму.

Одним из параметров, наиболее сильно влияющих на уровень шума, является окружная скорость ведущих колес, в нашем случае червяка [7]. На рис.7 показано изменение среднего уровня шума червячного редуктора L в зависимости от окружной скорости вала червяка V_1 при номинальной нагрузке.



Рис. 7. Изменение среднего уровня шума червячного редуктора в зависимости от окружной скорости вала червяка

Эту зависимость можно аппроксимировать следующей формулой

$$L = 60,5 \cdot V_1^{0,145}.$$

Среднестатистическое возрастание уровня шума ЧП при изменении окружной скорости вала червяка от 1,5 м/с до 4 м/с составляет приблизительно 10 дБ.

Заключение

В статье рассматриваются вопросы вибродиагностики изнашивания червячного зацепления по крутильной составляющей вибрации. Вибросигнал снимается ДУП, установленным на тихоходном валу червячной передачи. Найдены диагностические признаки изнашивания в спектрах вибросигналов с ДУП.

Определены пороговые значения диагностических признаков изнашивания, по которым можно не только качественно, но и количественно оценить степень изнашивания ЧП и прогнозировать ее остаточный ресурс по критериям изнашивания и уровню шума на основе анализа найденных диагностических признаков в вибросигнале с ДУП и их пороговых значений.

Список литературы

- [1]. Андриенко Л.А., Вязников В.А. Вибродиагностика технического состояния червячных передач по неравномерности вращения ведомого вала // Известия вузов. Машиностроение. 2014. №1. С.68-72.
- [2]. Андриенко Л.А. Уточнения ресурса червячных передач в составе электромеханических приводов // Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал. 2015. № 5. Режим доступа: <http://engsi.ru/doc/776753.html> (дата обращения: 14.05.2017)
- [3]. Андриенко Л.А., Вязников В.А. Влияние изнашивания на динамические нагрузки в червячной передаче // Известия вузов. Машиностроение. 2011. № 9. С.18-22.
- [4]. Колесников А.Е. Шум и вибрация. Л.: Судостроение. 1988. 247с.
- [5]. Jinxin Liu, Liangdong Yang, Laihao Yang. Multiple-harmonic amplitude and phase control method for active noise and vibration reshaping // Journal of Vibration and Control. 2017. № 4. P. 31-48.
- [6]. Istvan Paczelt, Zenon Mroz, Attila Baksa. Analysis of Wear Processes for Periodic Loading // Journal of Computational and Applied Mechanics. 2015. Vol. 10. No. 2. P. 231–268
- [7]. Moradi H., Salarieh H. Analysis of nonlinear oscillations in spur gear pairs with approximated modelling of backlash nonlinearity // Mechanism and Machine Theory. 2012. Vol. 51. P.14–31.