

DOI: 10.34220/2311-8873-2023-97-106



УДК 629.1.07

UDC 629.1.07

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕКУЩЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ ТРАНСМИССИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПОСРЕДСТВОМ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ПРИ ТЕСТОВЫХ ЗАЕЗДАХ ПО ДОРОЖНОМУ СПЕЦУЧАСТКУ

DETERMINATION OF THE CURRENT TECHNICAL CONDITION OF VEHICLE TRANSMISSION UNITS BY MEANS OF VIBRATION DIAGNOSTICS DURING TEST RUNS ON THE ROAD SPECIAL STAGE

✉¹ Лелиовский Константин Ярославич, к.т.н., доцент, кафедра «Строительные и дорожные машины», Нижегородский государственный технический университет им. Алексеева, г. Нижний Новгород, e-mail: kleliovskiy@mail.ru

✉¹ Leliovsky Konstantin Yaroslavich, candidate of technical sciences, associate professor, department of "construction and road machines", Nizhny Novgorod state technical university named after Alekseev, Nizhny Novgorod, e-mail: kleliovskiy@mail.ru

Молев Юрий Игоревич, д.т.н., доцент, кафедра «Строительные и дорожные машины», Нижегородский государственный технический университет им. Алексеева, г. Нижний Новгород, e-mail: moleff@yandex.ru

Molev Yuri Igorevich, doctor of technical sciences, associate professor, department of "construction and road machines", Nizhny Novgorod state technical university named after Alekseev, Nizhny Novgorod, e-mail: moleff@yandex.ru

Аннотация. В качестве диагностируемого объекта в данной статье рассматривается трансмиссия автомобиля. Значимыми диагностическими признаками для обозначенных целей являются косвенные (акустические, вибрационные, тепловые и др.). Из практики эксплуатации известно, что вибрации, возникающие при работе технически исправного узла, агрегата трансмиссии, отличаются от вибраций, возникающих при работе отказавшего узла, а также от узла, находящегося в предотказном состоянии. Очевидно, что по мере исчерпания ресурса происходит изменение спектрального состава колебаний, сообщаемыми агрегатами трансмиссию во внешнюю среду. Следовательно, по изменению спектрального состава вибраций мы имеем возможность отследить изменение технического состояния

Annotation. The transmission of a car is considered as a diagnostic object in this article. Significant diagnostic signs for the designated purposes are indirect (acoustic, vibrational, thermal, etc.). From the practice of operation, it is known that the vibrations that occur during the operation of a technically serviceable node, transmission unit, differ from the vibrations that occur during the operation of a failed node, as well as from a node that is in a pre-failure state. It is obvious that as the resource is exhausted, the spectral composition of the vibrations transmitted by the transmission units to the external environment changes. Consequently, by changing the spectral composition of vibrations, we have the opportunity to track the change in the technical condition of the mechanical unit from its serviceable condition up to its failure (node failure). Hardware, this can be done

механического агрегата от его исправного состояния вплоть до выхода его из строя, (отказа узла). Аппаратно это можно осуществить, используя встроенные в конструкцию транспортного средства, или внешние, устанавливаемые специально, датчики вибрации.

Ключевые слова: ВИБРАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРАЦИЙ, ВИБРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС, РЕМОНТ.

using built-in vehicle design, or external, specially installed vibration sensors.

Keywords: VIBRATION DIAGNOSTICS, MAINTENANCE, SPECTRAL CHARACTERISTICS OF VIBRATIONS, VIBRATION MEASURING COMPLEX, REPAIR.

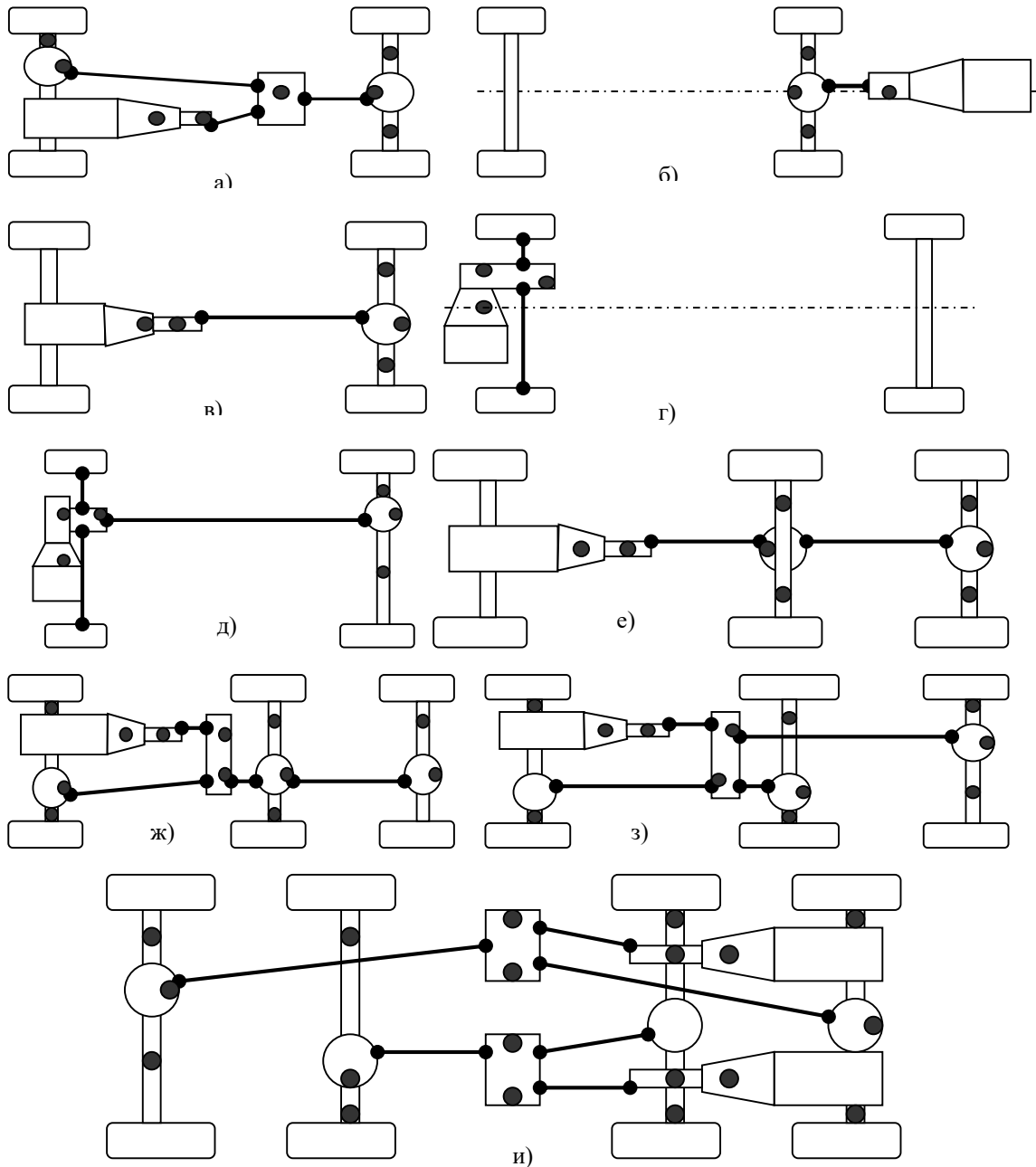
¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Трансмиссия автотранспортных средств является важным элементом их конструкции, передающим крутящий момент от двигателя к движителю. Она должна надёжно обеспечиваться при всех эксплуатационных режимах. Причём не рекомендуется выводить их силовое нагружение за штатные пределы ввиду опасности чрезмерного возрастания скорости процессов изнашивания их деталей. Следовательно, в ходе функционирования преимущественные нагрузочные режимы, преимущественно, должны быть в пределах их номинальных пределов.

Согласно многочисленным исследованиям в области машиноведения, проведенным отечественными и зарубежными учёными, известно, что каждая разборка – сборка механического сопряжённого узла, впоследствии, отнимает до 20 % его ресурса [1]. Это обусловлено тем, что деталям требуется определенное время для новой приработки, а она сопровождается ускоренным износом сопрягающихся поверхностей. Это ведет к сокращению ресурса подвижного сопряженного соединения. Очевидным решением представляется определение технического состояния элемента конструкции транспортного средства без его разборки. На основании полученных диагностических данных принимать решение о дальнейших воздействиях на узел.

Возможно также отслеживание и диагностирование наступления отказа и осуществление прогнозирования вероятного момента отказа, характера отказа. [2-6] Поэтому появляется возможность своевременно принять необходимые технические меры по его предотвращению или минимизации его последствий. Таким образом на основе результатов вибродиагностики, проводимых в отношении агрегатов трансмиссии, реализуемой при помощи установленного на автомобиль контрольно – измерительного компьютерного комплекса, технологические воздействия на агрегат назначаются лишь в случае выявления высокой вероятности наступления отказа. Датчики устанавливаются на определенных контрольных точках [7-12]. Схема их расположения показана на рис.1.



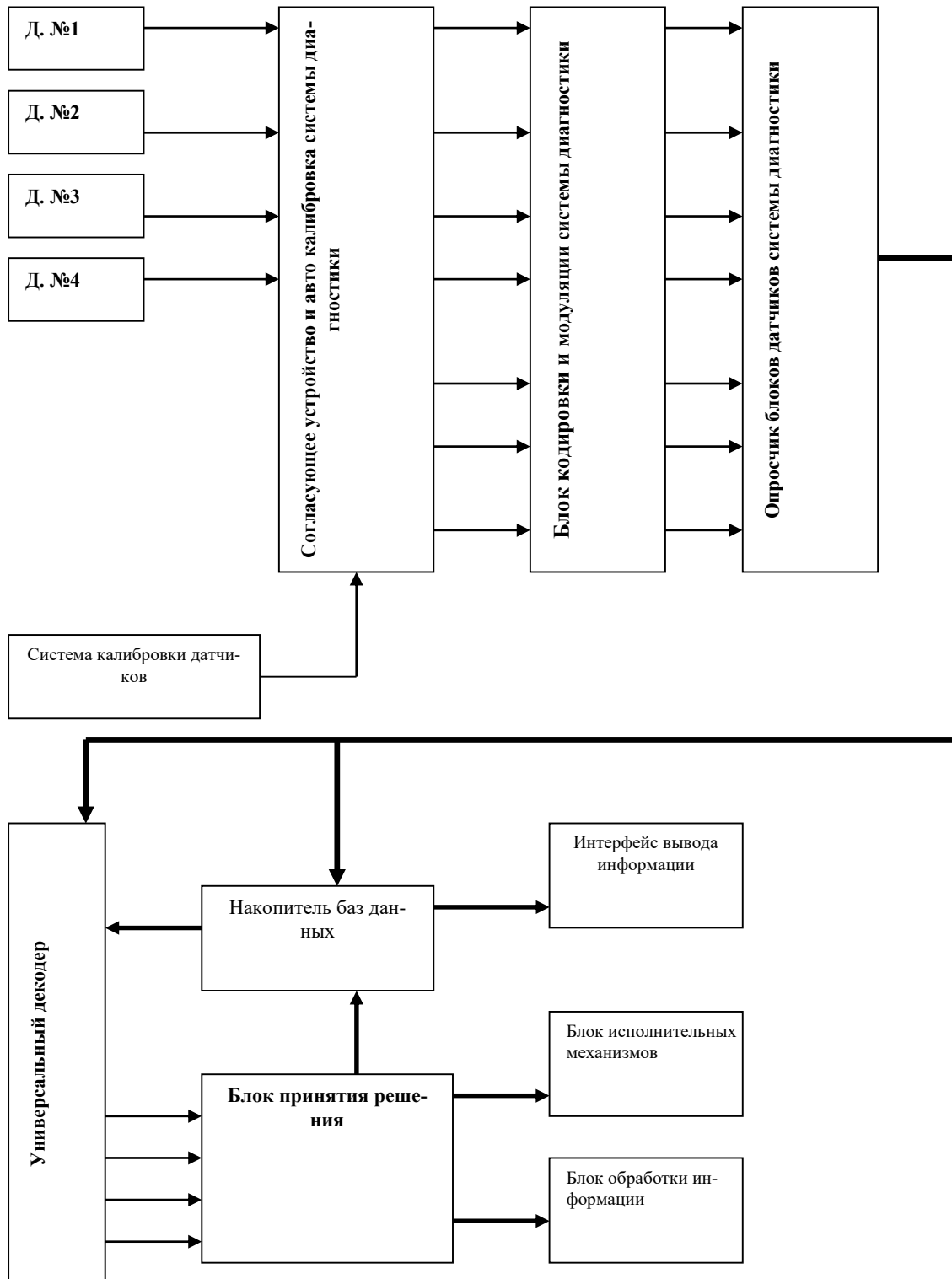
а) тип схемы: полноприводный, осевая формула: 12 – 34, колесная формула: 4x4, управляемые колеса: 1,2; б) тип схемы: заднеприводный, осевая формула: 00 – 34, колесная формула: 4x2, управляемые колеса: 1,2; в) тип схемы: классический, осевая формула: 00-34, колесная формула: 4x2, управляемые колеса: 1,2; г) тип схемы: переднеприводный, осевая формула: 12 – 00, колесная формула: 4x2, управляемые колеса: 1,2; д) тип схемы: полноприводный, осевая формула: 12 – 34, колесная формула: 4x4, управляемые колеса: 1,2; е) тип схемы: классический, осевая формула: 00 – 34 – 56, колесная формула: 6x4, управляемые колеса: 1,2; ж) тип схемы: полноприводный, осевая формула: 12 – 34 – 56, колесная формула: 6x6, управляемые колеса: 1,2; з) тип схемы: полноприводный, осевая формула: 12 – 34 – 56, колесная формула: 6x6, управляемые колеса: 1,2; и) тип схемы: полноприводный, осевая формула: 12 – 34 – 56 – 78, колесная формула: 8x8, управляемые колеса: 1,2,3,4

Рисунок 1 – Точки расположения датчиков на агрегатах трансмиссии транспортных средств

Опираясь на полученные в ходе измерения данных, мы получаем возможность определить, какие именно виды операций по ремонту действительно необходимы в данный момент вне зависимости от того, настал ли срок очередного ТО или текущего ремонта. Предлагаемая система технического обслуживания и диагностики, (по фактическому состоянию), позволит рациональнее организовать производственный процесс на предприятиях автомобильного транспорта и сервиса, грамотнее эксплуатировать автотранспортную технику, кроме того продлить срок службы агрегатов силовой передачи и всего автомобиля в целом [13-18]. В статье так же предлагается схема точек установки вибродатчиков на агрегаты трансмиссии в зависимости от колёсной формулы транспортного средства. Вибрационная эмиссия в данных местах является наиболее значимой. Исходя из этого, данные точки следует признать наиболее информативными в плане диагностики. Сами мероприятия наиболее рационально проводить в ходе заездов по специальному тестовому участку со специально подготовленной опорной поверхностью. На исследуемые автомобили следует предварительно установить виброизмерительный комплекс, регистрирующий характеристики вибраций агрегатов трансмиссии и посредством встроенного специального программного обеспечения осуществлять их спектральный анализ, а так же их визуализацию на дисплее. По внешнему виду графиков огибающей спектра зарегистрированного вибрационного сигнала техник – диагност, обладающий должной квалификацией, осуществляет постановку текущего диагноза. На его основе принимается решение о дальнейшем направлении исследуемого транспортного средства на ТО трансмиссии или даже в ремонт. Это представляется возможным ввиду того, что вид и форма спектрограммы свидетельствует об отсутствии того или иного эксплуатационного дефекта, или его наличии и степени его развития. Также на основе вида и форм спектрограмм возможно с определённой степенью достоверности осуществить прогнозирование остаточного ресурса агрегатов трансмиссии испытываемых транспортных средств.

2 Материалы и методы

В описываемом в данной статье исследовании предлагается проводить диагностирование текущего технического состояния в ходе движения изучаемого транспортного средства по некому тестовому участку дороги, подготовленному специально для проведения подобных натурных замеров. Микропрофиль данного дорожного отрезка подобран и выполнен таким образом, чтобы в зависимости от изменения скоростного режима движения изменялись параметры вибросигнала, регистрируемого датчиками измерительного комплекса, специально предварительно установленного на испытываемый автомобиль [6]. Контрольные точки выбираются в местах наибольшей вибрационной активности, их число будет различаться в зависимости от схемы силовой передачи транспортных средств (рис. 1). Общая принципиальная схема комплекса представлена на (рис. 2). Внешний вид основных элементов контрольно – измерительного комплекса представлен на (рис. 3). Установка его на автомобиль, обеспечит реализацию вибродиагностики технического состояния агрегатов и узлов силовой передачи транспортных средств при тестовых заездах по специальному участку. Это позволит в рамках предрейсового или послерейсового экспресс – диагностирования выявить автомобили, агрегаты трансмиссии которых с высокой долей вероятности находятся в предотказном состоянии. Следовательно, применение данного комплекса, как элемента методики экспресс – диагностирования будет способствовать внедрению системы ремонта по их текущему техническому состоянию [4, 5].



Д.1 – Д.4 – пьезоэлектрические датчики вибрации

Рисунок 2 – Общая схема контрольно – измерительный комплекса и блок отображения информации



а)

б)

в)

а) анализатор сигналов со встроенным аналого-цифровым преобразователем;
б) индуктивный датчик оборотов и датчики виброускорений; в) датчики виброускорений

Рисунок 3 – Внешний вид основных элементов контрольно – измерительного комплекса

Методика проведения экспресс – диагностирования при заезде по тестовому дорожному участку следующая:

1 На тестовый дорожный участок помещается изучаемое транспортное средство, параметры технического состояния которого заранее неизвестны;

2 На исследуемый автомобиль, (его коробку передач или другие агрегаты трансмиссии) монтируются вибродатчики, подсоединенные к измерительному комплексу;

3 Двигатель автомобиля запускается, и он приводится в движение;

4 Производится нагружение агрегатов трансмиссии и других элементов и систем автомобиля от дороги в ходе осуществляемого заезда;

5 При помощи установленного на автомобиль измерительного комплекса осуществляется измерение вибраций элементов трансмиссии, свойственных для движения по данному отрезку тестового участка;

6 Изменение возмущающих воздействий от дороги производится посредством подбора скорости движения транспортного средства по отрезкам с различным микропрофилем;

7 Проводится сохранение вибрационных характеристик, зарегистрированных при движении автомобиля по тестовому диагностическому участку;

8 Сохраняются спектры вибросигнала на всех интересующих диапазонах. На их основе, проводится классификация исследуемых дефектов по вибрационным характеристикам, (определяются характерные частоты и амплитуды);

9 Формируются исходные данные для последующей обработки их посредством нейросетевых алгоритмов;

10 На вход нейронных сетей поступают спектры значений среднеквадратичных отклонений амплитуд зарегистрированного вибрационного сигнала. На выходе получают значение вероятностей наличия в изучаемых агрегатах трансмиссии исследуемого автомобиля различных дефектов и повреждений;

11 Вычисляется погрешность оценки нейронной сетью наличия дефекта или повреждения;

12 Делается вывод о текущем техническом состоянии агрегатов трансмиссии изучаемого транспортного средства и заключение о возможности его назначения на дальнейшее выполнение транспортной работы;

При реализации приведённой последовательности действий проводим отработку методики экспресс – вибродиагностики агрегатов трансмиссии (в частности, коробок передач).

В ходе проведения диагностических аппаратных измерений механические колебания проходят следующие преобразования: датчик вибраций воспринимает их и, в силу своей конструкции, преобразует механические колебания в электромагнитные, соответствующей силы и напряжения. Происходит формирование сигнала $S(t)$. Сформированный сигнал затем проходит автоматическую калибровку, отсекаются комплексные составляющие, во избежание чрезмерной погрешности проводимых измерений. Затем, посредством программного обеспечения комплекса, осуществляется качественная оценка измеряемого параметра $q(t)$ с его последующей амплитудной и частотной модуляцией в блоке модуляции. После этого формируется частотно модулированный сигнал $u(t)$, который, впоследствии, суммируется. В результате этой операции в программно – аппаратном комплексе получается обобщенный сигнал $U(t)$. Сформированные суммарные сигналы коммутируются опросчиком. Данный сигнал поступает в аналого-цифровой преобразователь. В нём происходит временное разделение сигнала с последующей демодуляцией частоты несущего и поднесущего вибросигнала. В таком представлении он сигнал поступает для дальнейшей математико-логической обработки, в ходе которой вычисляются множество прямых и косвенных показателей. На дисплей компьютера выводится графики спектра огибающей вибрационного сигнала, соответствующего текущему техническому состоянию узлов трансмиссии испытываемого транспортного средства. В зависимости от его внешнего вида принимается решение о дальнейшей эксплуатации автотранспортной техники.

3 Результаты исследований

В качестве подтверждения данной концепции экспресс - диагностики были проведены экспериментальные ходовые исследования на тестовом участке в ходе которых проводились измерения уровня вибраций агрегатов трансмиссии транспортно – технологических машин «Ункор» и «Кержак» (рис. 4) производства ООО «Завод транспортных машин» (г. Нижний Новгород) с различными значениями пробега. Использовался программно – аппаратный комплекс, блок – схема которого приведена на (рис. 2).



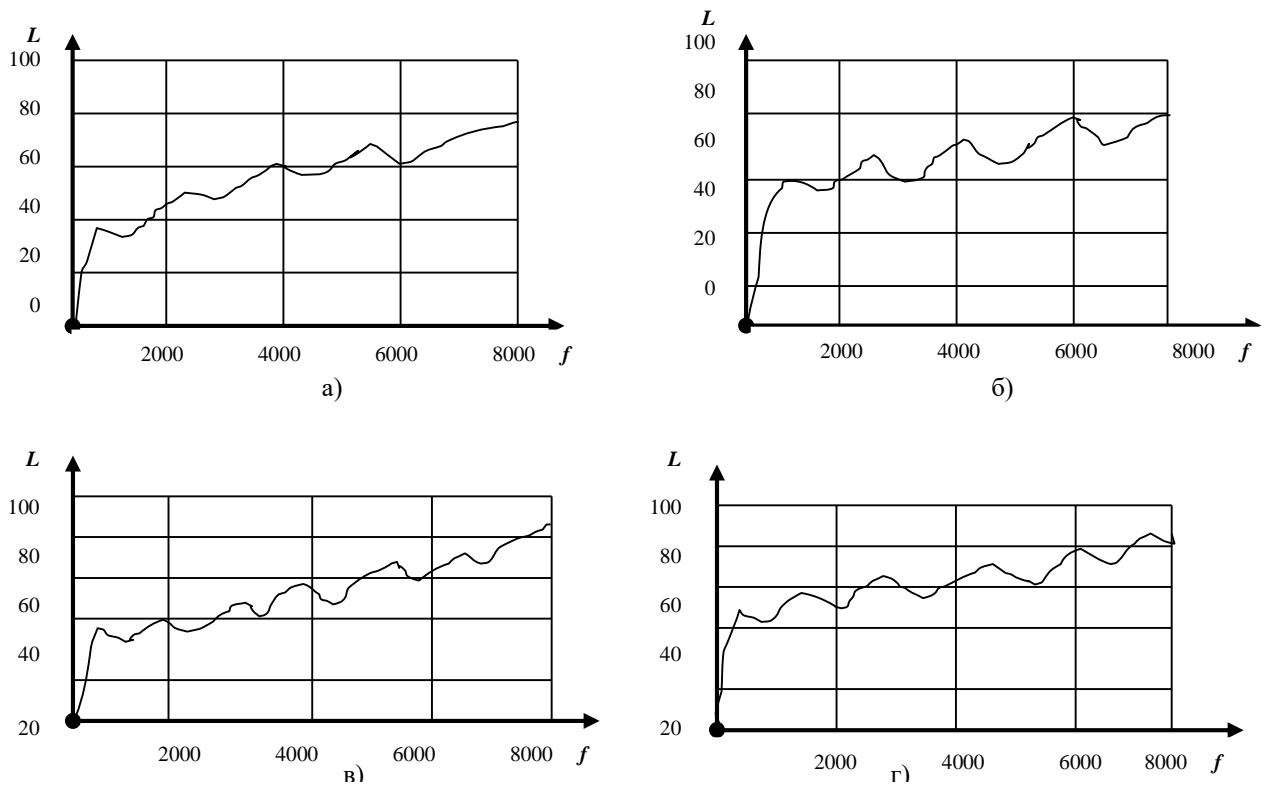
а)

б)

а) ТТС 30071 «Кержак», б) ТТС 39101 «Ункор»

Рисунок 4 – Исследуемые транспортно – технологические средства

Зарегистрированные вибрационные сигналы были программно обработаны контрольно – измерительным комплексом. В результате получены графики зависимости огибающей спектра вибраций от частот (рис.5).



а) новое ТТС «Кержак», без эксплуатационного пробега; б) ТТС «Кержак» с пробегом 3000 км.; в) ТТС «Кержак» с пробегом 9000 км.; г) ТТС «Кержак» с пробегом 30000 км

Рисунок 5 – Графики огибающих спектра вибраций, зарегистрированных на корпусах коробок передач исследуемого транспортного средства ТТС 30071 «Кержак»

4 Обсуждение и заключение

В результате сравнительного анализа графиков огибающих спектров, пример которых приведён на (рис. 5) был сделан вывод, что уровни вибраций, зарегистрированные в ходе измерений, проведённых в ходе заездов по тестовому дорожному участку, на всех полученных графиках спектров удовлетворяют требованиям нормативной документации. Это свидетельствует о малой вибронегруженности испытуемых коробок передач, вне зависимости от срока их службы. Эксплуатация транспортно – технологических машин «Кержак» и «Ункор» и их модификаций, на которые устанавливаются данные агрегаты трансмиссии свидетельствует о том, что они отличаются малой виброактивностью, общей надёжности. На основе анализа результатов проведённых заездов можно сделать следующий вывод: методы неразрушающего контроля, к которым относятся и вибродиагностические, с приемлемой точностью отражающие текущее техническое состояние агрегатов трансмиссии. В качестве обобщённого вывода следует отметить адекватность предложенной концепции вибродиагностики агрегатов трансмиссии практике эксплуатации большинства типов транспортных средств.

Таким образом, можно сделать заключение о том, что вибродиагностика позволяет перейти от плановой системы технического обслуживания к техническому обслуживанию по текущему состоянию при которой технологическое вмешательство в агрегат производится при возникновении необходимости, а не по некому неотступно соблюдаемому плану [19-21].

Список литературы

- 1 Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, В.П. Воронов, А.П. Болдин [и др.]. под общ. ред. Е.С. Кузнецова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 1991. – 413 с.
- 2 Айрапетов, Э. Л. Алгоритмы виброакустической диагностики деградиационных процессов в зубчатых механизмах / Э.Л. Айрапетов, Ф.Я. Балицкий, М.А. Иванова и др. // Материалы 10-й Всесоюзн. акуст. конф. / ИМАШ АН СССР. – М., 1983. С. 34 – 37.
- 3 Айрапетов, Э. Л. Вибрационная диагностика зарождающихся дефектов зубчатых механизмов / Э.Л. Айрапетов, Ф.Я. Балицкий, М.А. Иванова и др. // Тез. докл. 5-го Всесоюзн. совещ-я по техн. диагн. – Суздаль, 1982. – С. 11-13.
- 4 Айрапетов, Э. Л. Виброакустическая диагностика выкрашивания и заедания зубчатых колес на ранней стадии / Э.Л. Айрапетов, А.Г. Соколова, Е.И. Хомяков // Точность и надежность механических систем. Стохастическая локализация врожденности / Рижск. гос. ун-т. – Рига, 1983. - С. 68 – 76.
- 5 Александров, А. А. Вибрация и вибродиагностика судового электрооборудования / А.А. Александров, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. – Л.: Судостроение, 1986. – 321 с.
- 6 Апасов, А. М. Устройства для приема сигналов акустической эмиссии / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 1998. – № 10. – С. 35-38.
- 7 Асриян, Г. М. Возможности диагностирования вибрации сложных динамических систем / Г. М. Асриян // Колебания редукторных систем. – М.: Наука, 1980. – С.70 - 74.
- 8 Бакурский, Н. Н. О проблемах неразрушающего контроля в Саратовском регионе / Н.Н. Бакурский / Контроль и диагностика. 2000. – № 6. - С. 10 - 12.
- 9 Балицкий, Ф. Я. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф. Я. Балицкий, А.Г. Соколова, Е.И. Хомяков и др. – М.: Машиностроение, 1984. – 120 с.
- 10 Бамбалас, П. К вопросу о диагностировании подшипников / П. Бамбалас, К.М. Рагульскис, М. Рондоманкас // Физические методы исследования шумообразования и акустическая диагностика в машиностроении: Тез. докл. акуст. сем. / Куйбышев. политехн. ин-т. – Куйбышев, 1978. - С. 13 –14.
- 11 Барков, А. В. Диагностирование и прогнозирование состояния подшипников качения по сигналу вибрации / Судостроение. 1985. – №3. – С. 21-23.
- 12 Баркова, Н.А. Современное состояние виброакустической диагностики машин / Н.А. Баркова. – Санкт – Петербург: Изд-во СПбВМА, 2002. – 260 с.
- 13 Вибрации в технике: справочник / В.С. Авдуевский, И.И. Артоболевский [и др.]; под ред. М.Д. Генкина. – М.: Машиностроение, 1981. – Т5. – 496 с.
- 14 Вибрации в технике: справочник / В.С. Авдуевский, И.И. Артоболевский [и др.]; под ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1981. – Т6. – 456 с.
- 15 Вибрации в технике: справочник / В.С. Авдуевский, И.И. Артоболевский [и др.]; под ред. Ф.М. Диментберга, К.С. Колесникова. – М.: Машиностроение, 1981. Т3. – 544 с.
- 16 ГОСТ 18322 – 78 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1991, 15 с.
- 17 Генкин, М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. – М.: Машиностроение, 1987. – 228 с.
- 18 Соколов, О.В. О методике исследования режимов работы шестерен и подшипников трансмиссии в условиях эксплуатации / О.В. Соколов, Ю.Г. Стефанович // Труды НАМИ. – 1972. - № 8. - С.55-66.
- 19 Тимошенко, С. П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко; пер. с англ. – М.: Наука, 1967. – 444 с.
- 20 Труханов, В. М. Трансмиссии гусеничных и колесных машин / В.М. Труханов, В.Ф. Зубков и др. – М.: Машиностроение, 2001. – 736 с.
- 21 Туревский, И.С. Техническое обслуживание и текущий ремонт автомобилей. Часть 1: учеб. пособие /И.С. Туревский. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 432 с.

References

- 1 Kuznetsov, E.S. Technical operation of cars: a textbook for universities / E.S. Kuznetsov, V.P. Voronov, A.P. Boldin [and others]. under general ed. E.S. Kuznetsova. – 3rd ed., revised. and additional – M: Transport, 1991. – 413 p.
- 2 Airapetov, E.L. Algorithms for vibroacoustic diagnostics of degradation processes in gear mechanisms / E.L. Airapetov, F.Ya. Balitsky, M.A. Ivanova and others // Materials of the 10th All-Union. acoustic conf. / IMASH AS USSR. – M., 1983. S. 34 – 37.
- 3 Airapetov, E.L. Vibration diagnostics of incipient defects in gear mechanisms / E.L. Airapetov, F.Ya. Balitsky, M.A. Ivanova and others // Abstracts. report 5th All-Union technical meeting diag. – Suzdal, 1982. – pp. 11-13.
- 4 Airapetov, E.L. Vibroacoustic diagnostics of chipping and jamming of gear wheels at an early stage / E.L. Airapetov, A.G. Sokolova, E.I. Khomyakov // Accuracy and reliability of mechanical systems. Stochastic localization of innateness / Rizhsk. state univ. – Riga, 1983. - P. 68 – 76.
- 5 Aleksandrov, A.A. Vibration and vibration diagnostics of ship electrical equipment / A.A. Alexandrov, A.V. Barkov, N.A. Barkova and others - L.: Shipbuilding, 1986. - 321 p.
- 6 Apasov, A. M. Devices for receiving acoustic emission signals / Factory laboratory. Diagnostics of materials. 1998. – No. 10. – P. 35-38.
- 7 Asriyan, G. M. Possibilities for diagnosing vibration of complex dynamic systems / G. M. Asriyan // Oscillations of gear systems. – M.: Nauka, 1980. – P.70 - 74.
- 8 Bakursky, N.N. On the problems of non-destructive testing in the Saratov region / N.N. Bakursky / Control and diagnostics. 2000. – No. 6. - P. 10 - 12.
- 9 Balitsky, F. Ya. Vibroacoustic diagnostics of incipient defects / F. Ya. Balitsky, A.G. Sokolova, E.I. Khomyakov et al. - M.: Mashinostroenie, 1984. - 120 p.
- 10 Bambalas, P. On the issue of diagnosing bearings / P. Bambalas, K.M. Ragulskis, M. Rondonomanskas // Physical methods for studying noise generation and acoustic diagnostics in mechanical engineering: Proc. report acoustic family / Kuibyshev. Polytechnic int. – Kuibyshev, 1978. - P. 13–14.
- 11 Barkov, A.V. Diagnosis and prediction of the condition of rolling bearings using a vibration signal / Shipbuilding. 1985. – No. 3. – pp. 21-23.
- 12 Barkova, N.A. Current state of vibroacoustic diagnostics of machines / N.A. Barkova. – St. Petersburg: SPbVMA Publishing House, 2002. – 260 p.
- 13 Vibrations in technology: reference book / V.S. Avduevsky, I.I. Artobolevsky [and others]; edited by M.D. Genkina. – M.: Mechanical Engineering, 1981. – T5. – 496 p.
- 14 Vibrations in technology: reference book / V.S. Avduevsky, I.I. Artobolevsky [and others]; edited by K.V. Frolova. – M.: Mechanical Engineering, 1981. – T6. – 456 p.
- 15 Vibrations in technology: reference book / V.S. Avduevsky, I.I. Artobolevsky [and others]; edited by F.M. Dimentberga, K.S. Kolesnikova. – M.: Mechanical Engineering, 1981. T3. – 544 p.
- 16 GOST 18322 – 78 System of technical maintenance and repair of equipment. Terms and Definitions. – M.: Standards Publishing House, 1991, 15 p.
- 17 Genkin, M.D. Vibroacoustic diagnostics of machines and mechanisms / M.D. Genkin, A.G. Sokolova. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 228 p.
- 18 Sokolov, O.V. On the methodology for studying the operating modes of transmission gears and bearings under operating conditions / O.V. Sokolov, Yu.G. Stefanovich // Proceedings of NAMI. – 1972. - No. 8. - P.55-66.
- 19 Timoshenko, S.P. Fluctuations in engineering / S.P. Tymoshenko; lane from English – M.: Nauka, 1967. – 444 p.
- 20 Trukhanov, V.M. Transmissions of tracked and wheeled vehicles / V.M. Trukhanov, V.F. Zubkov et al. - M.: Mashinostroenie, 2001. - 736 p.
- 21 Turevsky, I.S. Maintenance and current repair of vehicles. Part 1: textbook. allowance /I.S. Turevsky. – M.: INFRA-M, 2005. – 432 p.