

22. *Balas E.* New classes of efficiently solvable generalized Traveling Salesman Problems, *Annals of Operations Research*, 1999, Vol. 86, pp. 529-558. ISSN 1572-9338. Doi: 10.1023/A:1018939709890.
23. *Chentsov A.G., Khachai M.Y., Khachai D.M.* An exact algorithm with linear complexity for a problem of visiting megalopolises, *Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics*, 2016, Vol. 295, No. 1, pp. 38-46. ISSN 1531-8605. Doi: 10.1134/S0081543816090054.
24. *Chentsov A., Khachay M., Khachay D.* Linear time algorithm for Precedence Constrained Asymmetric Generalized Traveling Salesman Problem, *IFAC-PapersOnLine*, 2016, Vol. 49, No. 12, pp. 651- 655. ISSN 2405-8963. Doi: 10.1016/j.ifacol.2016.07.767.
25. *Khachai M.Y., Neznakhina E.D.* Approximation Schemes for the Generalized Traveling Salesman Problem, *Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics*, 2017, Vol. 299, No. 1, pp. 97-105. ISSN 1531-8605. Doi: 10.1134/S0081543817090127.
26. *Khachay M., Neznakhina K.* Complexity and approximability of the Euclidean generalized traveling salesman problem in grid clusters, *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 2020, Vol. 88, No. 1, pp. 53-69. ISSN 1573-7470. Doi: 10.1007/s10472-019- 09626-w.
27. *Gurobi Optimization.* Gurobi optimizer reference manual, 2020. Available at: <http://www.gurobi.com>.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор А.Н. Сесекин.

Петунин Александр Александрович – Уральский Федеральный университет; e-mail: a.a.petunin@urfu.ru; г. Екатеринбург, Россия; д.т.н.; доцент; профессор.

Полищук Ефим Григорьевич – e-mail: e.g.polishchuk@urfu.ru; к.ф.-м.н.; доцент; с.н.с.

Уколов Станислав Сергеевич – e-mail: s.s.ukolov@urfu.ru; м.н.с.

Petunin Alexander Alexandrovich – Ural Federal University; e-mail: a.a.petunin@urfu.ru; Yekaterinburg, Russia; dr. of eng. sc.; associate professor; professor.

Polishchuk Efim Grigorievich – e-mail: e.g.polishchuk@urfu.ru; cand. of phys. and math. sc.; associate professor; senior researcher.

Ukolov Stanislav Sergeevich – e-mail: s.s.ukolov@urfu.ru; junior researcher.

УДК 62-93

DOI 10.18522/2311-3103-2021-1-165-174

А.В. Логунов, А.Л. Береснев

ВОЗМОЖНОСТИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ПОДВЕСКИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Работа посвящена проблеме диагностирования подвески транспортных средств. Проблема контроля состояния подвески сейчас наиболее актуально из-за постоянного роста автопарка и ужесточения требований к безопасной эксплуатации. Своевременный и точный контроль состояния подвески способен предотвратить выход из строя целых узлов транспортного средства, а также избежать таких серьезных последствий как дорожно-транспортное происшествие. В работе подробно рассмотрены современные средства диагностики, выделены принципы работы, достоинства и недостатки, представлено обоснование выбора из существующих методов такого, который способен помочь наиболее точно и быстро обнаружить неисправность. С появлением современных технологий давно известный метод оценки состояния подвески по звуку может стать самым передовым, поскольку исключается человеческий фактор, для обработки сигнала применяется вычислительная техника анализ звукового спектра в которой осуществляется с помощью компьютерных технологий. В статье рассмотрены механизмы, которые способны генерировать звуковые сигналы. Предложенный способ диагностики позволяет выделить «полезные» звуки из общего числа шумов подвески, после сравнительного анализа указать на узел звук которого отличается от эталонного, исправного. Данное решение в диагностике позволяет существенно снизить общую трудоемкость за счет исключения частичной или полной разборки подвески, как результат несмотря на упрощение, точность обнаружения

неисправностей только возрастет. Целью работы является исследование виброакустических сигналов, излучаемых узлами подвески. С помощью датчиков сигналы считываются, далее происходит математическая обработка на ЭВМ. В результате исследований разработан способ диагностики, позволяющий обнаружить скрытые дефекты узлов подвески и определяющий степень износа. Научная новизна состоит в том, что процесс диагностики становится автоматизированным, все сигналы, снятые датчиками, обрабатывается в ЭВМ или специальном сканере, на дисплей выводятся информация о состоянии тех или иных узлов, в отличие от существующих методов, где диагностика осуществляется визуально или на слух, таким образом, становится возможным избежать ошибок.

Транспортное средство; диагностика; подвеска; стук; виброакустический анализа; вейвлет–преобразование.

A.V. Logunov, A.L. Beresnev

CAPABILITIES OF VIBROACOUSTIC EXAMINATION AND DIAGNOSTICS OF VEHICLE SUSPENSION

The work is devoted to the problem of diagnosing the suspension of vehicles. The problem of monitoring the condition of the suspension is now the most urgent due to the constant growth of the vehicle fleet and the tightening of requirements for their safe operation. Timely and accurate monitoring of the condition of the suspension can prevent the failure of entire vehicle components, as well as avoid such serious consequences as a road traffic accident. In the work, modern diagnostic tools are considered in detail, the principles of operation, advantages and disadvantages are highlighted, the rationale for choosing from the existing methods one that can help most accurately and quickly detect a malfunction is presented. With the advent of modern technologies, the well-known method for assessing the state of the suspension by sound can become the most advanced, since the human factor is excluded, computer technology is used to process the signal, the analysis of the sound spectrum in which is carried out using computer technology. The article discusses mechanisms that are capable of generating sound signals. The proposed diagnostic method makes it possible to single out "useful" sounds from the total number of suspension noises, after a comparative analysis, indicate the node whose sound differs from the standard, serviceable one. This solution in diagnostics can significantly reduce the overall labor intensity by eliminating partial or complete disassembly of the suspension, as a result, despite the simplification, the accuracy of fault detection will only increase. The aim of the work is to study the vibroacoustic signals emitted by the suspension units. With the help of sensors, the signals are read out, then mathematical processing takes place on a computer. As a result of the research, a diagnostic method has been developed that allows detecting hidden defects of suspension assemblies and determining the degree of wear. The scientific novelty lies in the fact that the diagnostic process becomes automated, all signals taken by the sensors are processed in a computer or a special scanner, information about the state of certain nodes is displayed on the display, in contrast to existing methods, where diagnostics is carried out visually or by ear. thus, it becomes possible to avoid mistakes.

Vehicle; diagnostics; pendant; knock; vibroacoustic analysis; wavelet–transformation.

Введение. Современное транспортное средство – это набор сложных взаимосвязанных устройств, и его работоспособность зависит от большого числа параметров. Для обеспечения долгосрочной и безаварийной эксплуатации необходима диагностика.

Подвеска транспортного средства является важной конструктивной частью наиболее подверженной износу. Именно подвеска постоянно испытывает переменные нагрузки, достигающие в ряде случаев значительных величин. От состояния ходовой зависит устойчивость транспорта на дороге, его маневренность и контроль, что соответственно обеспечивает безопасность движения. Неисправная подвеска негативно влияет не только на безопасность управления, но и на уровень комфорта. Эксплуатация транспортного средства с неисправной ходовой является опасной и для водителя, и для окружающих. Поэтому ходовая часть должна находиться в исправном состоянии [1, 2].

Диагностика подвески включает несколько способов оценки работоспособности. Они отличаются сложностью проведения и точностью результатов. Первый – визуальный. Он самый простой, не требующий значительных финансовых затрат и специального оборудования. Диагностика подвески этим методом не гарантирует точности. Второй способ тоже частично "визуальный", однако он включает еще и субъективную оценку степени износа деталей специалистом, который пробует транспортное средство в действии. Этим методом можно выявить основные проблемы, однако полной картины технического состояния машины вы не увидите. Диагностика подвески третьим способом дает самые точные результаты, она сочетает визуальную оценку с применением технических средств.

С каждым днем узлы транспортных средств становятся все сложнее и сложнее, подвеска так же не является исключением. Для обнаружения неисправности требуется затрачивать больше времени, в большинстве случаев при использовании вышеописанных способов диагностики приходится прибегать к частичной разборке ходовой части. Разработанный метод диагностики позволяет избежать этого. В связи с этим, данный метод актуален.

Научная новизна состоит в том, что процесс диагностики становится автоматизированным, все сигналы, снятые датчиками, обрабатывается в ЭВМ или специальном сканере, на дисплей выводятся информация о состоянии тех или иных узлов, в отличие от существующих методов, где диагностика осуществляется визуально или на слух, таким образом, становится возможным избежать ошибок.

Описание узлов подвески транспортных средств, излучающих вибросигналы. Стуки в подвеске возникают по различным причинам. Обычно стуки в подвеске проявляются в результате неисправности амортизаторов, в этом случае необходимо произвести замену амортизаторов, также при повреждении резинометаллических шарниров, деформации опор стоек амортизаторов, изношенности опор и рычагов передней и задней подвески [3].

Стуки в передней или задней подвеске могут возникнуть и при ослаблении гаек и болтов креплений узлов передней подвески, изношенности подушки и резинометаллических шарниров штанги, выработке подшипников ступиц передних колес, а также при большом дисбалансе колес или деформациях колесных дисков.

Стуки от «пробоя» подвески возникают из-за разрушения буферов сжатия, осадки или поломки пружины подвески, а частые «пробои» (стуки) задней подвески чаще всего происходят из-за перегрузки багажника транспортного средства.

Источником стука может оказаться не только неисправности подвески. Если они сопровождаются отдачей и вибрациями в рулевом колесе, то причина может скрываться в неисправности рулевого управления. Такие проблемы требуют особого внимания, так как не только ухудшают комфортность вождения транспортного средства, но могут создать чрезвычайно опасные аварийные ситуации на дорогах.

Если такие симптомы проявляются только на скоростях выше 70...80 км/ч, то наиболее вероятной их причиной является разбалансировка колес, особенно передних [4].

Стуки в рычагах подвески могут заключаться в дефектах самого рычага. На рисунке 1 представлен внешний вид рычага. Рычаги являются связующими элементами подвески транспортного средства и служат для прочного соединения колеса (ступицы) с несущей конструкцией (кузовом), и обеспечивают перемещение колес относительно кузова [5, 6]. Одной из главных причин стуков рычагов подвески является износ резинометаллических шарниров (сайлентблоков).

Сайлентблоки служат для соединения деталей подвески, и за счет упругой вставки между втулками гасят колебания, передаваемые от одного узла к другому. На сайлентблок приходятся самые тяжелые нагрузки, ведь он должен противостоять деформации, которую получает подвеска транспортного средства.

Еще одним источником шумов подвески могут являться рулевые наконечники. Стуки в наконечниках опасны и возникают, в основном, при повышенных люфтах пальца в гнезде [7].

Также в передней подвеске транспортного средства могут стучать шаровые опоры. Причиной стуков шаровых опор является износ этих самых опор.

Шаровые опоры предназначены для поворота управляемых колес и должны воспринимать нагрузку от неровного дорожного полотна. При очень сильном износе шаровых опор их может вырвать и тогда транспортное средство останется без управления, что может привести к плачевным последствиям [8].

Самым главной неисправностью и стуков в подвеске является амортизатор.

Амортизаторы чаще всего теряют работоспособность из-за недостаточного количества жидкости или газа в них, а также загрязнении каналов, поломки и чрезмерного износа клапанов, поршня, штоков и пружин сальников. Неисправность амортизаторов может проявиться на неровной дороге, когда транспортное средство по дороге бросает из стороны в сторону и после этого долго раскачивается после каждого толчка [9].

Описание системы. Диагностировать неисправности и степень износа узлов можно с помощью виброакустического анализа звуков, излучаемых подвеской транспортного средства. Для реализации данного способа необходимо закрепить специальные вибродатчики в определенных местах подвески. Далее снимая колебания с датчиков, вводя их с помощью устройства сопряжения или звуковых карт в память ПЭВМ обрабатываем полученные данные по определенным алгоритмам, после сравнения с эталонными значениями, можно делать заключение об исправности узлов. Для частотного спектра записанного звукового сигнала применяется вейвлет-преобразование.

Вейвлетное преобразование сигналов является обобщением спектрального анализа, типичный представитель которого – классическое преобразование Фурье. Термин "вейвлет" (wavelet) в переводе с английского означает "маленькая (короткая) волна". Вейвлеты – математические функции, которые разделяют данные на различные частотные составляющие, а затем изучают каждый компонент с разрешением, соответствующим его масштабу. Вейвлет-преобразования рассматривают анализируемые временные функции в терминах колебаний, локализованных по времени и частоте.

Вейвлетный анализ представляет собой особый тип линейного преобразования сигналов и физических данных.

Все вейвлет-преобразования рассматривают функцию (взятую будучи функцией от времени) в терминах колебаний, локализованных по времени и частоте. Вейвлет-преобразования обычно делят на дискретное вейвлет-преобразование (ДВП) и непрерывное вейвлет-преобразование (НВП) [10–26].

Вейвлет преобразования нашло применение в таких областях как:

- ◆ Обработка экспериментальных данных;
- ◆ Обработка изображений;
- ◆ Обработка и анализ спектров;
- ◆ Сжатие данных;
- ◆ Нейросети и другие механизмы анализа данных;
- ◆ Системы передачи данных и цифровой обработки сигналов [27].

Для нас больший интерес представляет обработка и анализ спектров. Так как мы рассматриваем сигнал как функцию от частоты и амплитуды по времени.

Описание принципов диагностирования. Эксперимент проводился над подвесками автомобилей ВАЗ 2106, 2104, 2107.

На детали подвески, закреплялись акустические датчики, провода от которых проводились в салон автомобиля и подключались к ПК. Транспортное средства приводится в движение, во время которого вся информация записывается на жесткий диск.

С помощью ПО Adobe Audition выделялась одна серия из повторяющихся всплесков, выделенная серия сохранялась. Далее начиналась обработка полученных сигналов. Обработка осуществлялась с помощью ПО Auto Signal. После обработки вся полученная информация сводилась в таблицы.

На рис. 1 представлены графики сигналов, излучаемых рулевыми трапециями. По частоте и интенсивности всплесков на графиках возможно определить степень износа механизма.

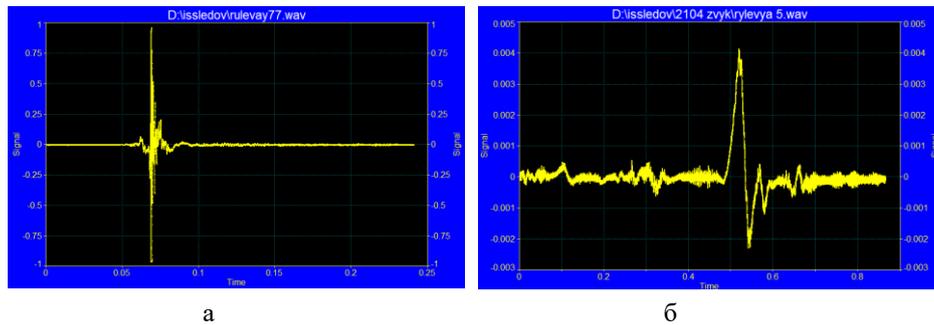


Рис. 1. Анализ сигнала, излучаемого рулевой трапецией

Применим вейвлет – преобразования. На рис. 2 выполнено вейвлет – преобразование сигналов, излучаемых рулевыми трапециями. Выделим всплески с максимальной амплитудой и узнаем частоту и интенсивность.

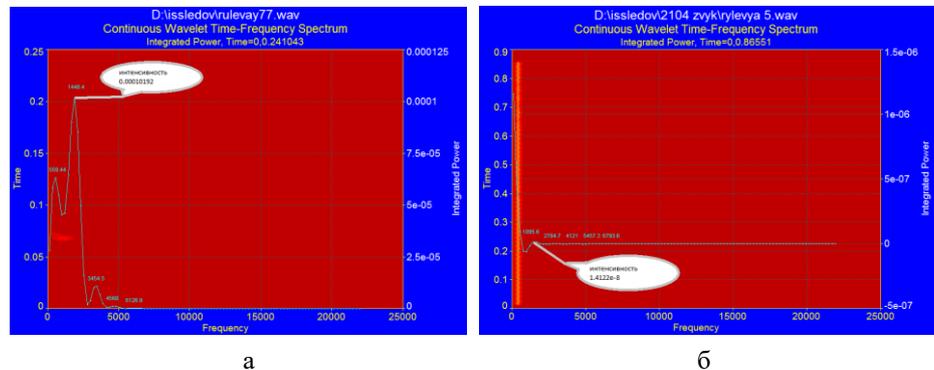


Рис. 2. Вейвлет-преобразование

В результате обработки можно наблюдать череду всплесков. Причиной этих всплесков являются удары шарового пальца о корпус шарнира. Гармоника с максимальной амплитудой на графике 2,а имеет частоту 1448Гц и интенсивность 0.0001, на графике 2,б гармоника с максимальной амплитудой имеет частоту 1895Гц и интенсивность 0.0005. Сведем полученные данные в табл. 1.

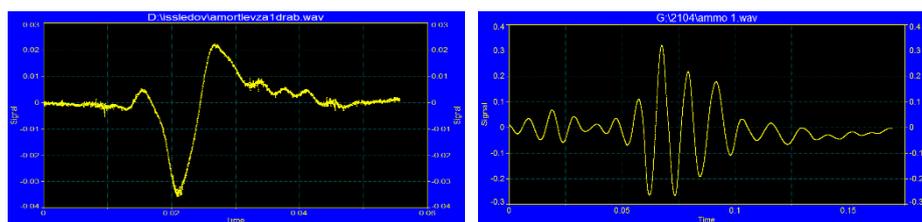
Таблица 1

Результаты эксперимента над рулевыми

Рулевая	Интенсивность	Частота, Гц
а	0.0001	1448
б	0.0005	1895

Исходя из этого видно, что гармоника на графике 2,б имеет большую интенсивность и частоту, следовательно, можно утверждать, что механизм изношен сильнее.

Таким же методом исследуем работу амортизаторов.

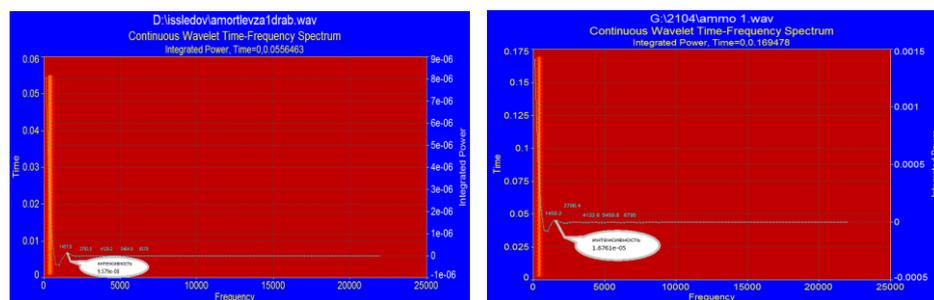


а

б

Рис. 3. Выделение участков сигнала, где наблюдается всплеск

Далее выполним вейвлет-преобразование, результаты можно наблюдать на рис. 4.



а

б

Рис. 4. Вейвлет-преобразование

Сигнал амортизатора на графике 4,а в пике имеет частоту 1457.8 и интенсивность $9.579\text{e-}8$, амортизатор на графике 4,б имеет частоту 1450.2 интенсивность $1.676\text{e-}5$. Сводим результаты в табл. 2.

Таблица 2

Эксперимент с амортизаторами

Амортизатор	Интенсивность	Частота
а	0.003	1457.8
б	0.01	1450.2

Разницу в интенсивности можно объяснить тем что, амортизаторы имеют разный состав наполнения. Амортизатор а – газо-масляный, амортизатор б – масляный, так же еще одной причиной этой разницы может быть то что мы сообщаем усилие по разному на амортизатор.

Источником излучения в амортизаторе является пара поршень-корпус. При утечке масла, амортизатор начинает “пробивать”.

Анализ работы амортизатора с разным уровнем масла. На рис. 5 представлен сигнал, излучаемый амортизатором с заводским уровнем масла.



Рис. 5. Амортизатор с заводским уровнем масла



Рис. 6. Вейвлет-преобразование полученного сигнала

Как видно из графика 6, при изучении сигнала, излучаемого амортизатором, наблюдается всплеск, имеющий частоту 2570 Гц и интенсивность 0,009.

Далее спускаем часть масла из амортизатора. Результат представлен на рис. 7 и 8.

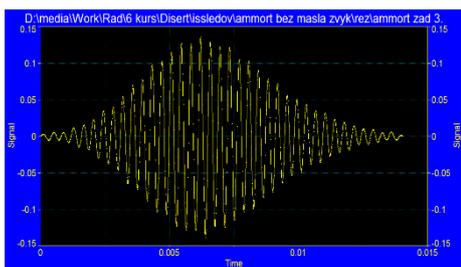


Рис. 7. Сигнал работы амортизатора с частично слитым маслом

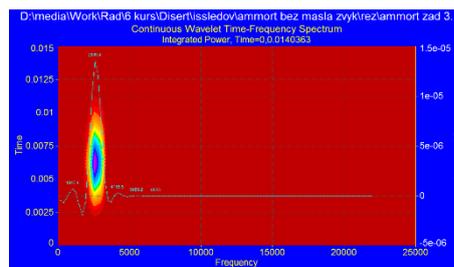


Рис. 8. Вейвлет-преобразование

Из графика 8 видно, что всплеск с максимальной амплитудой имеет частоту 2599,4 Гц, интенсивность 0,008.

Повторим опыт, только в этот раз полностью сольем масло с амортизатора, результат опыта представлен на рис. 9 и 10.



Рис. 9. Сигнал, работы амортизатора без масла

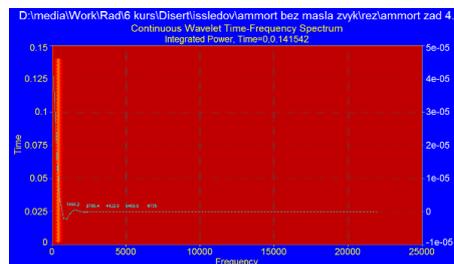


Рис. 10. Вейвлет-преобразование

Проанализировав график вейвлет-преобразования в 3м опыте, удалось выяснить, что всплеск с максимальной амплитудой имеет частоту 1450 Гц, интенсивность 0,004.

Сведем данные 3х опытов в табл. 3 и сравним полученный результат.

Таблица 3

Номер опыта	Частота, Гц	Интенсивность
1 заводской уровень (300 гр.)	2570	0,009
2 Частичный слив масла (150 гр.)	2599,4	0,008
3 Полностью без масла	1450	0,004

Как видно из табл. 3 интенсивность звука уменьшается, пропорционально уровню масла, это можно обосновать тем, что скорость распространения звука в воздухе меньше скорости распространения звука в масле. (Скорость звука в воздухе – 310 м/с, а скорость звука в масле — 1300 м/с.) Так же о малом уровне масла в амортизаторе свидетельствует низкая частота звуковой волны, результат 3го опыта это подтверждает.

Таким образом, удалось доказать, что благодаря разработанному методу, возможно диагностировать какая степень износа у амортизаторов транспортного средства.

Заключение. Резюмируя изложенное, можно сделать следующие выводы, что предложенный в работе метод позволяет обнаружить неисправность рулевых тяг на транспортных средствах, так же выявлена зависимость количества масла в амортизаторе от интенсивности звука, излучаемого им, благодаря этому становится возможным определять степень износа.

Разработанный метод позволяет обнаружить:

- ◆ неисправность в шаровых опорах;
- ◆ неисправность рулевых тяг и рулевого редуктора;
- ◆ износ амортизаторов;
- ◆ износ сайлентблоков.

Представленный метод диагностики является актуальным на сегодняшний день, т.к. практически полностью сводит к минимуму риск ложного определения неисправности и дает возможность избежать серьезных последствий, которые могут возникнуть по причине этих неисправностей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ротенберг Р.В.* Подвеска автомобиля. Колебания и плавность хода. – 3-е изд.
2. Автомобили и технологии. – <http://www.autotechnic.su/>.
3. *Волгин В.В.* Диагностика неисправностей легковых автомобилей. – М.: АСТ: Астрель, 2005. – 104 с.
4. *Карунина А.Л.* Конструкция автомобиля. Шасси: учебник для вузов / под ред. д.т.н. – М., 2000.
5. Справочник автомобилиста. – <http://www.avtoindent.ru/>.
6. Электронная книга по описанию и ремонту классических автомобилей. – <http://www.vaz2101inf.ru/>.
7. Ремонт, обслуживание эксплуатация автомобилей полные технические характеристики. Диагностика, электросхемы. – <http://www.autoprospect.ru>.
8. Хороший стук наружу вылезет. – <http://automoto-party.ru>.
9. *Сидоров А.В.* Подвеска, амортизаторы, детали // За рулем. – 2010. – № 12.
10. *Давыдов А.В.* Вейвлетные преобразования сигналов. Курс лекций. – Екатеринбург: УГГУ, ИГиГ, кафедра геоинформатики, 2005.
11. *Береснев А.Л. Береснев М.А.* Виброакстический метод диагностики двигателя внутреннего сгорания // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – № 6. – С. 27-32.

12. Guo L.-X., Zhang L.P. Vehicle vibration analysis in changeable speeds solved by pseudoexcitation method // Received 31 December 2009; Revised 20 February 2010; Accepted 28 August 2010.
13. Czech P., Lazarz B., Madej H., Wojnar G. Vibration diagnosis of car motor engines // Acta technica corviniensis – bulletin of engineering. – 2010.
14. Scheffer C., Girdhar P. Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance, Newnes, 2004.
15. Patel V.N., Tandon N., Pandey R.K. Hindawi publishing corporation advances in acoustics and vibration // Experimental study for vibration behaviors of locally defective deep groove ball bearings under dynamic radial load. – 2014.
16. Burdzik R., Doleček R. Research of vibration distribution in vehicle constructive // Perner's contacts. – 2012. – P. 16-26.
17. Wang X. Vehicle noise and vibration refinement, woodhead publishing limited, Cambridge, 2010.
18. Volkswagen of America, Inc.: Noise, vibration, and harshness, self study program, course No. 861503, U.S.A., 2005.
19. Deulgaonkar V.R. Review and Diagnostics of noise and vibrations in automobiles // International journal of modern engineering research (IJMER). – Vol.1, No. 2. – P. 242-246.
20. Gustafsson F. Vibration analysis for speed estimation of wheeled indoor vehicles // Master of Science thesis in electrical engineering. – 2017.
21. Gordon T.J., Bareket Z. Vibration transmission from road surface features – vehicle measurement and detection. – 2007.
22. Bala Raju A., Venkatachalam R. Analysis of vibrations of automobile suspension system using full-car model // International journal of scientific & engineering research. – September 2013. – Vol. 4, Issue 9. – P. 2105-2111.
23. Noise, Vibration, and Harshness NVH // Chrysler academy group, school of technical training. – 2011.
24. Sitnik L., Magdziak–Tokáowicz M., Wróbel R. Comparative analysis of the vibrations of a different kind of engine mounted in the same new motor vehicles // Journal of kones power-train and transport. – 2011. – Vol. 18, No. 4.
25. Dertimanis V.K., Koulocheris D.V. Identification of vehicle suspensions' faults from multi-channel excitation and vibration response measurements // 3'd International conference from scientific computing to computational engineering. – 2008.
26. Konieczny L., Burdzik R. Modern suspension systems for automotive vehicles and their test methods // Jve international ltd. vibroengineering procedia. – 2017. – P. 233-237.
27. Яковлев А.Н. Введение в вейвлет-преобразования: учеб. пособие. – Новоибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 104 с.

REFERENCES

1. Rotenberg R.V. Podveska avtomobilya. Kolebaniya i plavnost' khoda [Car suspension. Oscillation and smoothness]. 3rd ed.
2. Avtomobili i tekhnologii [Cars and technology]. Available at: <http://www.autotechnic.su/>.
3. Volgin V.V. Diagnostika neispravnostey legkovykh avtomobiley [Diagnostics of malfunctions of cars]. Moscow: AST: Astrel', 2005, 104 p.
4. Karunina A.L. Konstruktsiya avtomobilya. Shassi: uchebnik dlya vuzov [Vehicle design. Chassis. Textbook for universities], ed. by dr. of eng. sc. Moscow, 2000.
5. Spravochnik avtomobilista [Directory of the motorist]. Available at: <http://www.avtoindent.ru/>.
6. Elektronnaya kniga po opisaniyu i remontu klassicheskikh avtomobiley [E-book on the description and repair of classic cars]. Available at: <http://www.vaz2101inf.ru/>.
7. Remont, obsluzhivanie ekspluatatsiya avtomobiley polnye tekhnicheskie kharakteristiki. Diagnostika, elektroskhemy [Repair, maintenance, operation of cars, full technical specifications. Diagnostics, wiring diagrams]. Available at: <http://www.autoprospect.ru>.
8. Khoroshiy stuk naruzhu vylezet [A good knock will come out. Available at: <http://automoto-party.ru>.
9. Sidorov A.V. Podveska, amortizatory, detali [Suspension, shock absorbers, parts], *Za rulem* [Behind the wheel], 2010, No. 12.

10. Davydov A.V. Veyvletnye preobrazovaniya signalov. Kurs lektsey [Wavelet transformations of signals. Course of lectures]. Ekaterinburg: UGGU, IGiG, kafedra geoinformatiki, 2005.
11. Beresnev A.L. Beresnev M.A. Vibroaksticheskiy metod diagnostiki dvigatelya vnutrennego sgoraniya [Vibroacoustic method for diagnostics of an internal combustion engine], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, automation, control], 2010, No. 6, pp. 27-32.
12. Guo L.-X., Zhang L.P. Vehicle vibration analysis in changeable speeds solved by pseudoexcitation method, *Received 31 December 2009; Revised 20 February 2010; Accepted 28 August 2010*.
13. Czech P., Lazarz B., Madej H., Wojnar G. Vibration diagnosis of car motor engines // *Acta technica corviniensis – bulletin of engineering*, 2010.
14. Scheffer C., Girdhar P. Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance, Newnes, 2004.
15. Patel V.N., Tandon N., Pandey R.K. Hindawi publishing corporation advances in acoustics and vibration, *Experimental study for vibration behaviors of locally defective deep groove ball bearings under dynamic radial load*, 2014.
16. Burdzik R., Doleček R. Research of vibration distribution in vehicle constructive, *Perner's contacts*, 2012, pp. 16-26.
17. Wang X. Vehicle noise and vibration refinement, woodhead publishing limited, Cambridge, 2010.
18. Volkswagen of America, Inc.: Noise, vibration, and harshness, self study program, course No. 861503, U.S.A., 2005.
19. Deulgaonkar V.R. Review and Diagnostics of noise and vibrations in automobiles, *International journal of modern engineering research (IJMER)*, Vol.1, No. 2, pp. 242-246.
20. Gustafsson F. Vibration analysis for speed estimation of wheeled indoor vehicles, *Master of Science thesis in electrical engineering*, 2017.
21. Gordon T.J., Bareket Z. Vibration transmission from road surface features – vehicle measurement and detection, 2007.
22. Bala Raju A., Venkatachalam R. Analysis of vibrations of automobile suspension system using full-car model, *International journal of scientific & engineering research*, September 2013, Vol. 4, Issue 9, pp. 2105-2111.
23. Noise, Vibration, and Harshness NVH, *Chrysler academy group, school of technical training*, 2011.
24. Sitnik L., Magdziak–Tokáowicz M., Wróbel R. Comparative analysis of the vibrations of a different kind of engine mounted in the same new motor vehicles, *Journal of kones powertrain and transport*, 2011, Vol. 18, No. 4.
25. Dertimanis V.K., Koulocheris D.V. Identification of vehicle suspensions' faults from multi-channel excitation and vibration response measurements, *3'd International conference from scientific computing to computational engineering*, 2008.
26. Koniczny L., Burdzik R. Modern suspension systems for automotive vehicles and their test methods, *Jve international ltd. vibroengineering procedia*, 2017, pp. 233-237.
27. Yakovlev A.N. Vvedenie v veyvlet-preobrazovaniya: ucheb. posobie [Introduction to Wavelet Transforms: textbook]. Novoibirsk: Izd-vo NGTU, 2003, 104 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.В. Павленко.

Логунов Артём Владимирович – НИЦ супер-ЭВМ и нейрокомпьютеров; e-mail: artem-logunov@yandex.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +79054586468; аспирант, инженер.

Береснев Алексей Леонидович – Южный федеральный университет; e-mail: alex_tr6@mail.ru; г. Таганрог, Россия; кафедра электротехники и мехатроники; к.т.н.; доцент.

Logunov Artyom Vladimirovich – Supercomputers and Neurocomputers Research Center; e-mail: artem-logunov@yandex.ru; Taganrog, Russia; phone: +79054586468; postgraduate student, engineer.

Beresnev Aleksey Leonidovich – Southern Federal University; e-mail: alex_tr6@mail.ru; Taganrog, Russia; the department of electrical engineering and mechatronics; cand. of eng. sc.; associate professor.