

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ПО ЗВУКОЗАПИСЯМ ВИДЕОРЕГИСТРАТОРА

А.А. Годлевский

Федеральное бюджетное учреждение Челябинская лаборатория судебной экспертизы
Министерства юстиции Российской Федерации, Челябинск, Россия, 454071

Аннотация. Предложен способ определения скорости транспортного средства по звукозаписи с автомобильного видеорегистратора, установленного на нем. Автором проанализирован процесс работы четырёхтактного двигателя внутреннего сгорания и выявлена зависимость между количеством оборотов коленчатого вала двигателя и количеством оборотов, передаваемых механической коробкой передач на колесо. Приведена формула, позволяющая определять статический радиус колеса по его маркировочному обозначению на шине. Разобраны случаи из экспертной практики и предложены варианты определения номера включенной передачи на коробке переключения передач. Рассмотрены возможности применения метода на транспортных средствах с автоматической коробкой переключения передач. Приводятся результаты апробации метода экспертами судебно-экспертных учреждений Минюста России, отмечающих совпадение результатов при вычислении количества оборотов двигателя автомобиля посредством кепстрального анализа и показаний приборов контроля оборотов двигателя автомобиля.

Ключевые слова: *видеофонограмма ДТП, скорость транспортного средства, обороты двигателя, видеорегистратор*

DETERMINING VEHICLE SPEED FROM DASHCAM AUDIO ANALYSIS

A.A. Godlevskii

Chelyabinsk Laboratory of Forensic Science, Ministry of Justice of the Russian Federation,
Chelyabinsk, Russia, 454071

Abstract. The article offers a method for determining vehicle speed from the audio track recorded by the dashboard camera mounted on the car in question. The author analyzed the operation of a four-stroke internal combustion engine, and established a dependency between the number of rotations (rpm) of the engine crankshaft and the number of rotations transferred to the wheel by the manual transmission. The author presents a formula that helps to determine the static radius of the wheel from its marking symbols on the tire. He looks at examples from forensic casework and offers options for determining the ID number of an engaged gearbox. Furthermore, he reviews the possibilities of applying this method to vehicles with an automatic transmission. In conclusion, the article presents the results of tests of the proposed method conducted by leading experts from various forensic institutions of the Russian Ministry of Justice. They point to the consistency of results when engine rpm is calculated based on cepstral analysis and engine tachometer readings.

Keywords: *traffic accident video, vehicle speed, engine rpm, dashboard camera*

В настоящее время существует несколько способов определения скорости транспортных средств (далее ТС) по видеозаписям, выполненным стационарной камерой видеонаблюдения или автомобильным видеорегистратором, установленным на движущемся ТС. В том и другом случае зачастую используются неподвижные ориентиры местности: знаки дорожной разметки, фон освещения, рекламные плакаты и др. [1, с. 212–249]. Но встречаются ситуации, когда дорожно-транспортное происшествие (далее ДТП) происходит в условиях ограниченной видимости либо местности, лишенной ориентиров (заснеженной трассе, полевой дороге и пр.). В этих случаях определение скорости транспортного средства с установленным автомобильным видеорегистратором возможно провести по анализу звукового ряда записей, полученных с помощью видеорегистратора.

Суть рассматриваемого способа сводится к определению количества оборотов двигателя с помощью инструментального анализа звукового ряда видеозаписи.

Чувствительность микрофонов большинства автомобильных видеорегистраторов позволяет фиксировать звуки частотой от 20 Гц и выше. Низкочастотные сигналы звука поступают на микрофон устройств видеозаписи за счет вибрации кузов транспортного средства (рис. 1).

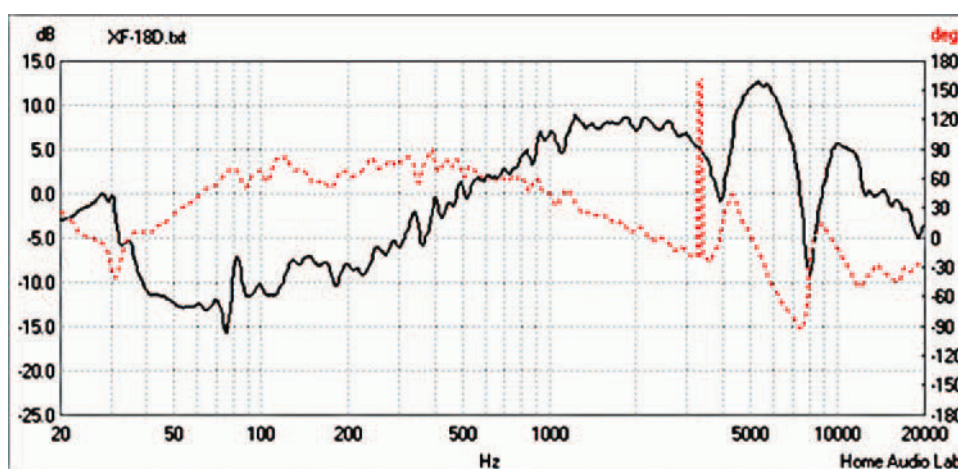


Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики микрофон XF-18D.

В кустические события, сопровождающие видеозапись, попадет и шум работы двигателя. Известно, что холостые обороты двигателя составляют 400–800 об/мин (13,3–26,7 Гц), предельные обороты двигателя достигают 8000 об/мин (266,7 Гц). Современное программное обеспечение позволяет выделять из звуковых сигналов гармонические сигналы с указанными частотами.

Для удобства исследования из исходной видеозаписи звуковую составляющую необходимо скопировать в файл формата WAV, затем понизить частоту дискретизации полученной записи до 600 Гц. Наличие гармонической спектрограммы в области низких частот будет свидетельствовать о наличии сигнала с переменной частотой с мощным громким шумом двигателя – выхлоп. Положение гармонической составляющей шума двигателя будет зависеть от количества тактов последнего. У четырехтактного двигателя цикл работы (впуск, такт сжатия, рабочий ход и выпуск) происходит за четыре хода поршня или за два оборота коленчатого вала. Полный рабочий цикл двухтактного двигателя состоит из двух тактов и проходит за один полный оборот коленчатого вала. В общем случае зависимость количества оборотов четырехтактного двигателя (n) от частоты вращения коленчатого вала (f) определяется следующим образом:

$$n = 60 \cdot f \cdot \frac{2}{k} = 120 \cdot \frac{f}{k}, \quad (1)$$

где n – количество оборотов двигателя, об/мин;

2 – количество оборотов коленчатого вала за один цикл работы двигателя;

k – количество поршней/цилиндров двигателя;

f – частота вращения коленчатого вала, Гц.

Средняя скорость движения транспортных средств определяется как:

$$V = 3,6 \cdot \frac{S_k}{T}, \quad (2)$$

где S_k – путь, пройденный колесом за один оборот, м;
 T – период вращения колес, с.

Зная радиус ведущего колеса ТС (r_k), можно определить путь, пройденный за один оборот колес:

$$S_k = 2 \cdot \pi \cdot r_k. \quad (3)$$

Период вращения колес от числа оборотов двигателя (n) будет зависеть от передаточных чисел коробки передач:

$$T = \frac{60 \cdot i_0 \cdot i_k}{n}, \quad (4)$$

где n – число оборотов двигателя, об/мин;

i_0 – передаточное число главной передачи;

i_k – передаточное число коробки передач (K – номер включенной передачи).

Таким образом, средняя скорость движения транспортного средства будет определяться [2] как:

$$V = 3,6 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r_k}{\left(\frac{60 \cdot i_0 \cdot i_k}{n}\right)} = 3,6 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r_k}{60 \cdot i_0 \cdot i_k} \cdot n = 0,377 \cdot \frac{r_k \cdot n}{i_0 \cdot i_k}. \quad (5)$$

Предложенный способ определения количества оборотов двигателя был использован в экспертной практике ФБУ Челябинская ЛСЭ Минюста России для решения вопроса о скорости движения тягача в момент, предшествующий столкновению. Тягач двигался впереди автомобиля с видеорегистратором – ВАЗ-21099. По визуальным признакам оба автомобиля перемещались с одинаковыми скоростями. Сложность исследования заключалась в том, что ДТП случилось несколько лет назад, в момент производства экспертизы состояние дорожной обстановки изменилось, положение ориентиров поменялось.

Согласно предложенному методу, частота оборотов двигателя определялась по динамической спектрограмме с помощью программного продукта «OT Expert» в окне анализ/поисков признаков монтажа (рис. 2). Для исследования можно использовать любое программное обеспечение, позволяющее рисовать динамическую спектрограмму в полосе частот 20–600 Гц.

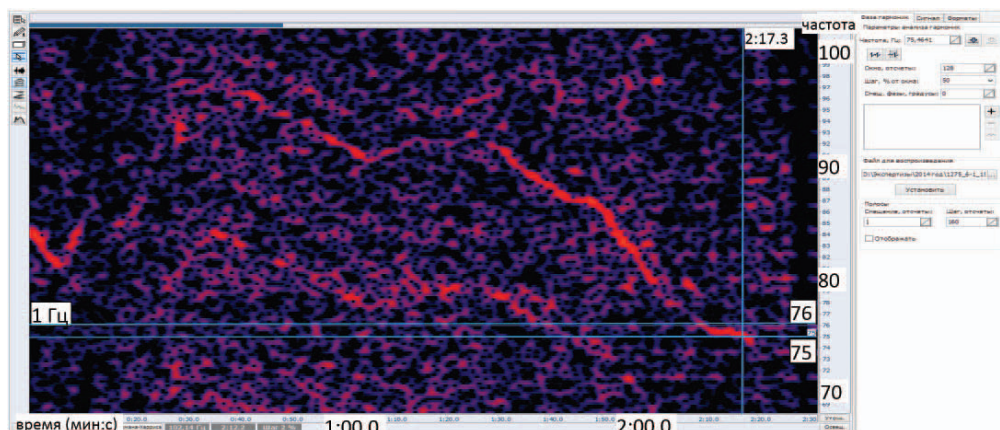


Рис. 2. Рбочее окно программы «OT Expert 5.1», динамическая спектрограмма звука от двигателя автомобиля ВАЗ-21099. Гармонический сигнал рабочего цикла двигателя выделяется в виде красной линии.

С помощью инструмента «преобразователь признаков» определялась частота рабочего цикла двигателя с точностью до первого знака после запятой. Использование более высоких порядков не привело к повышению точности определения скорости.

На рис. 2 рабочая частота двигателя в момент времени около 2 мин 17 с составляла 75,5 Гц. Известно, что двигатель автомобиля ВАЗ-21099 четырехтактный и четырехцилин-

дровый. Т ким обр зом, количество оборотов двиг теля:

$$n = 120 \cdot \frac{75,5}{4} = 2265 \text{ об/мин}$$

По спр вочным д нным [3] уст н влив ются ост льные величины, входящие в формулу: $r_k = 0,28 \text{ м}$, $i_o = 3,94$, $i_v = 0,784$.

С учетом полученных д нных скорость втомобиля с видеорегист тором сост влял :

$$V = 0,377 \cdot \frac{2265 \cdot 0,28}{3,94 \cdot 0,784} = 77,4 \text{ км/ч} \approx 77 \text{ км/ч}$$

При определении скорости по след м торможения было уст новлено, что тр нспортное средство двиг лось со скоростью 78 км/ч. Сходство результ тов говорит о р ботоспособности способ определения скорости по звуку р боты двиг теля.

Ан лиз применяемой формулы пок з л, что точность определения скорости сильно з висит от р диус к чения ведущих колёс ТС. Н тр нспортном средстве могут быть уст новлены колес , не предусмотренные его техническими х р теристик ми. Д нное обстоятельство следует учитыв ть при р счет х, и по необходимости, если т кие д нные отсутствуют в протоколе об дминистр тивном пр вон рушении, з пр шив ть сведения об втомобильной покрышке. Р диус к чения ведущих колёс ТС р ссчитыв ется по формуле:

$$r_k = \frac{1}{2 \cdot 1000} \left(\lambda \cdot \frac{2 \cdot P \cdot H}{100} + 25,4 \cdot R \right) = 10^{-5} \cdot \lambda \cdot P \cdot H + 0,0127 \cdot R, \quad (6)$$

где λ – коэффициент смятия шины (0,85–0,90 для ди гон льных шин втомобиля, 0,80–0,85 – для р ди льных) [4];

P – ширин протектор шины, мм;

H – профиль (высот шины), %;

R – пос дочный ди метр, дюйм.

Н пример, м ркировк покрышки 175/80R13 обозн ч ет ширину шины (P) 175 мм, высоту шины (H) в 80 % от ширины и пос дочный ди метр (R) 13 дюймов. Р диус к чения ведущих колес при этих д нных будет р вен 0,277 м. При этом м ркировк R ozn ч ет, что шин – р ди льн я.

Т кже в жно зн ть, к к я перед ч был уст новлен н коробке переключения перед ч (д лее КПП) (рис. 3, 4).

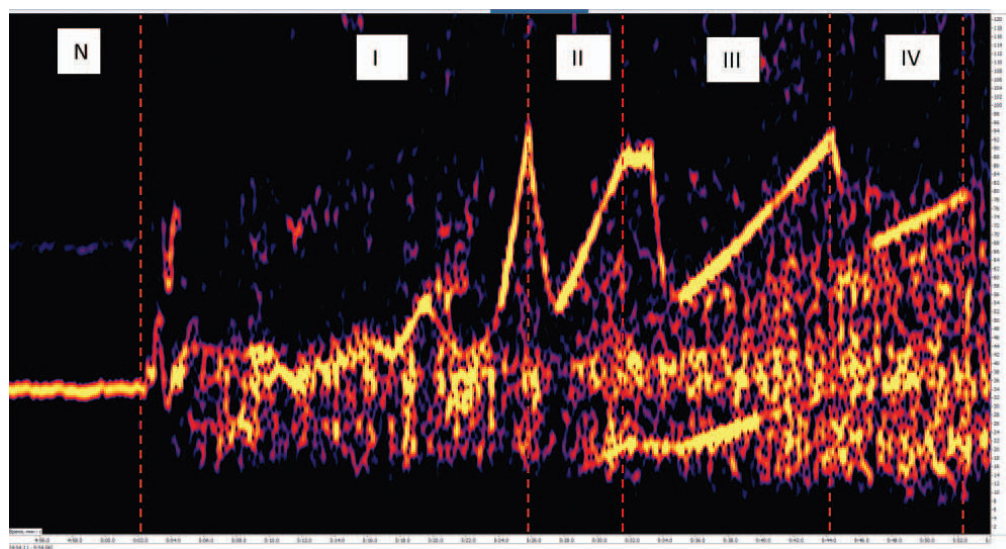


Рис. 3. Р бочее окно прогр мммы «OT Expert 5.1», дин мическ я спектрогр мм звук р боты двиг теля втомобиля ВАЗ-212300.

N – нейтр льное положение КПП; I-IV – номер перед чи КПП.

Если на видеофонограмме зафиксирован звук робота двигателя с момента включения первой передачи, можно проследить по динамической спектрограмме фазы повышения/понижения передачи до момента, предшествующего ДТП, и определить какая передача была включена. Отношение оборотов двигателя при двух соседних передачах будет зависеть от передаточных чисел к к:

$$\frac{n_{k+1}}{n_k} = \frac{i_{k+1}}{i_k} . \quad (7)$$

Например, в случае, представленном на рисунке 3, автомобиль двигаясь по дороге с асфальтобетонным покрытием без уклона. Тем же образом, при смене передачи I→II гиромоник меняет свое положение с 92 на 53 Гц, т.е. в 1,74 раз, отношение передаточных чисел i_{II}/i_{I} при этом составляет 1,75. Аналогично, для смены передачи II→III и III→IV получаем $87/56 \approx 1,58$ ($i_{III}/i_{II} = 1,54$) и $92/68 \approx 1,35$ ($i_{IV}/i_{III} = 1,36$). Следовательно, при наличии хотя бы одной смены передачи возможно определить, между какими номерами передачи произошло переключение. При движении автомобиля по дороге с уклоном необходимо вводить поправки на потерю скорости при переключении передачи.

Если на видеофонограмме нет фазы переключения передачи, наиболее вероятными будут значения скорости у соседних передач (рис. 4). При одной и той же частоте робота двигателя скорость на передачах, например III и V, будет отличаться почти в два раза.

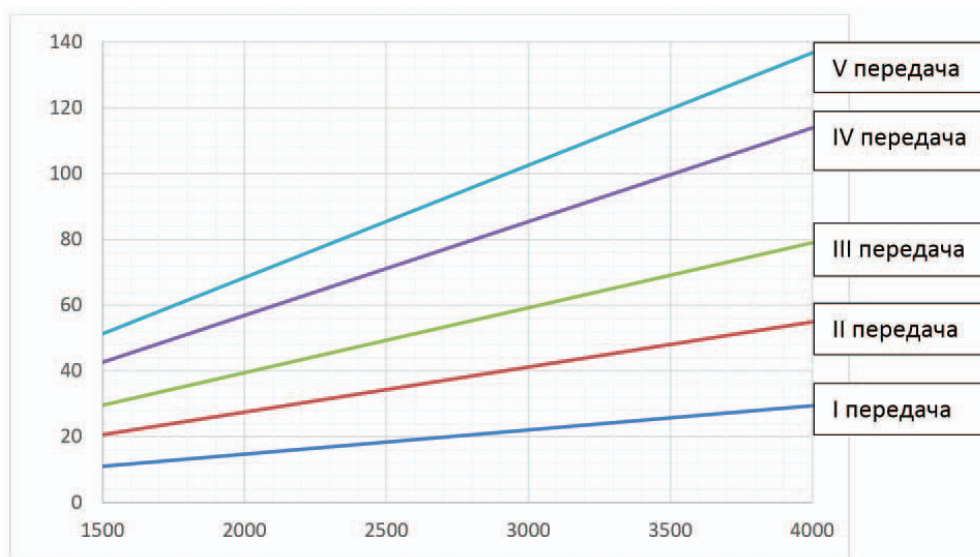


Рис. 4. Скорость движения транспортного средства (ВАЗ-21099) в зависимости от оборотов двигателя и номера включенной передачи.

Описанный способ определения скорости был рассмотрен на примере автомобиля ВАЗ-21099, имеющего механическую коробку передач. При известных параметрах механической коробки передач определение скорости по звуку робота двигателя возможно, если не динамической спектрограмме не наблюдается переключения передачи (см. формулу 7) или иными способами установлен номер включенной передачи.

Апробацию робота проводили ведущие государственные эксперты ФБУСибирский РЦСЭ Минюста России и ФБУ Томская ЛСЭ Минюста России – С.А. Кривошеков и Ю.А. Денисов.

Условия пробции: проведение спектрального и кепстрального анализа звукозаписи, полученной с помощью автомобильных видеорегистраторов, размещенных в салоне автомобилей ВАЗ-2107, DAEWOO Nexia, Skoda Octavia, Шевроле Нив. Все автомобили имели механическую коробку переключения передач. Результатом спектрального анализа явились значения частот гиромоник, соответствующих вращению вала двигателя автомобиля. Контроль вычисленных по кепстрограммам значений оборотов двигателя производился с помощью штатных тахометров автомобилей, которые фиксировались

н звукозпись во время проведения эксперимента. Для анализа использовался спектр первой гармоники ($f_1/4$), так как квадратичный спектральной области другие гармоники, способные вносить неопределенность, либо отсутствовали, либо имели существенно меньшую амплитуду. Частота вращения двигателя определялась по формуле $n = 120 \cdot f$, где n – частота вращения двигателя, об/мин, f – частота $f_1/4$ гармоники звука двигателя автомобиля.

Результаты пробы:

1. Предложенный способ определения скорости по звукозаписи видеорегистратор пригоден для практического применения. Это подтверждается совпадением результатов, полученных путем вычисления количества оборотов двигателя автомобиля посредством спектрального анализа, и показаний приборов контроля оборотов двигателя автомобиля (тахометров).

2. Точность определения частоты вращения двигателя автомобиля по звукозаписи достаточна для решения практических экспертных задач.

3. Возможность описываемого способа измерения скорости зависит от конструктивных особенностей автомобиля и способностей видеорегистратора в его составе. Чем хуже шумоизоляция двигателя автомобиля, тем лучше визуализируются гармоники, подходящие для анализа. Демпфирующие свойства крепления видеорегистратора могут снизить возможности применения описываемого способа в связи с тем, что уменьшится передаточная функция сигнала с корпуса автомобиля на корпус видеорегистратора.

4. Независимо от влияния на гармоники звуков двигателя других резонансных систем автомобиля, прежде всего шумов, возникающих в выхлопной системе автомобиля.

5. При практическом использовании данного способа целесообразно анализировать гармонические составляющие звука двигателя на участках с резким изменением частоты вращения (резкое ускорение, переключение передач и т.п.).

6. При исследовании частоты гармоники, соответствующей вращению вала двигателя автомобиля, возникли отклонения в значении. Это связано с тем, что динамической спектрограмме присутствует несколько гармоник и возникает опасность исследования не той гармоники (рис. 5).

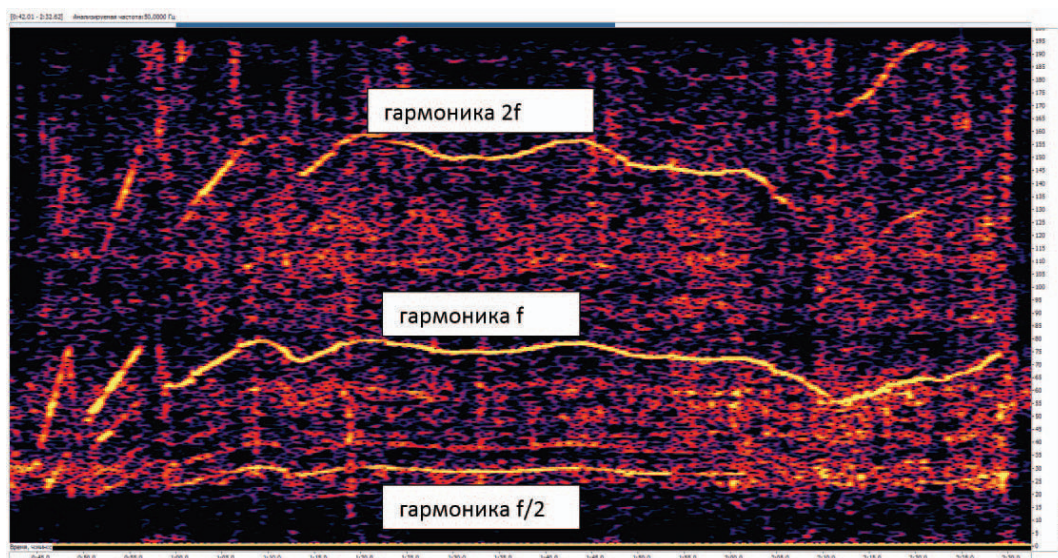


Рис. 5. В более окне программы «OT Expert 5.1», динамическая спектрограмма звука двигателя автомобиля ВАЗ-212300. Гармоники частот, соответствующих вращению вала двигателя (f).

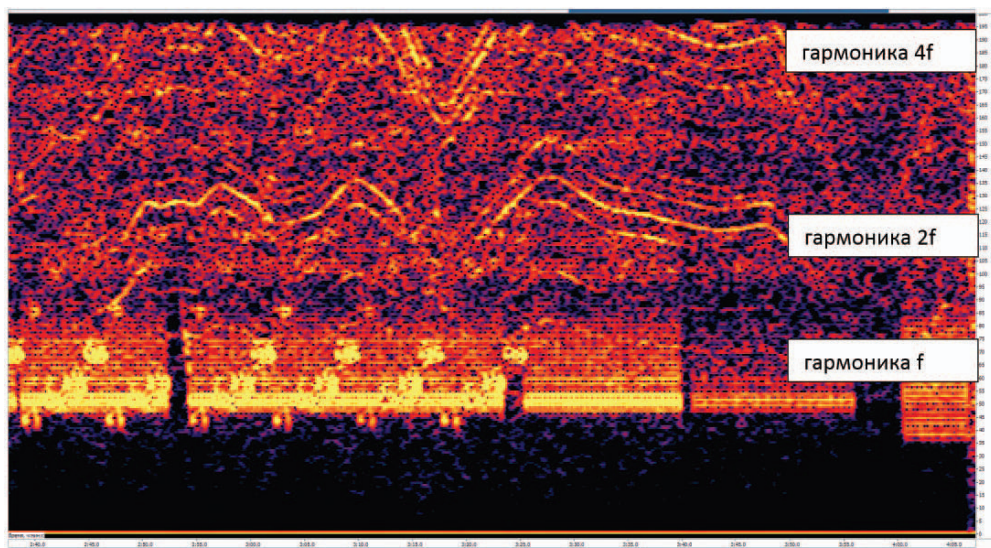


Рис. 6. Рбочее окно программы «OT Expert 5.1», динамическая спектрограмма звука от боты двигателя автомобиля Iran Khodro Samand. Гармоники частот, соответствующих вращению вала двигателя (f).

На рис. 5 чувствительность микрофона и форма тизисов позволяют зафиксировать частоту гармоник, соответствующую вращению вала двигателя / 2 ($f / 2$), на рис. 6 – только частоту гармоник, соответствующую вращению вала двигателя $\times 2$ ($2 \cdot f$). Частота первой гармоники на динамической спектрограмме (рис. 6) либо перекрывается шумом, либо проявляется слабо. В этом случае для анализа можно брать гармонику $2f$ с соответствующими поправками в формуле (1). В большинстве случаев анализируемая частота гармоник f не входит в пределы $\times 50$ – 100 Гц, что соответствует количеству оборотов четырехтактного двигателя 1500 – 3000 об/мин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Актуальные вопросы экспертизы видеозаписей: материалы всероссийского семинара, проходившего в Нижнем Новгороде 13–17 мая 2013 года / под ред. В.Н. Пронин, П.Г. Лесниковой – Нижний Новгород, 2014. – 406 с.
2. Пучкин В.А. Основы экспертного анализа дорожно-транспортных происшествий. Базы данных. Экспертная практика. Методы решений. – Ростов н/Д: ИПО ПИ ЮФУ, 2010. – 400 с.
3. Краткий автомобильный справочник НИИАТ. – М.: АО «Трансконсалтинг», 1994. – 779 с.
4. Селифонов В.В., Хусайнов А.Ш., Ломкин В.В. Теория автомобиля: Учебное пособие. – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 102 с.

REFERENCES

1. Pronin V.N., Lesnikova P.G. (editors). Aktual'nye voprosy ekspertizy videozapisei [Topical issues of examination of video records]. *Materialy vserossiiskogo seminar, prokhodivshogo v Nizhnem Novgorode 13-17 maya 2013 goda* [Materials of the All-Russian seminar in Nizhny Novgorod, May 13-17, 2013]. Nizhnii Novgorod, 2014. 406 p. (in Russ).
2. Puchkin V.A. *Osnovy ekspertnogo analiza dorozhno-transportnykh proisshествii. Baza dannykh. Ekspertnaya praktika. Metody reshenii* [Bases of the expert analysis of the road accidents. Database. Expert practice. Methods of decisions]. Rostov-on-Don: IPO PI YuFU, 2010. 400 p. (in Russ.)
3. *Kratkii avtomobil'nyi spravochnik NIIAT* [Short automobile reference book of NIIAT]. Moscow: AO "Transkonsalting", 1994. 779 p. (In Russ).
4. Selifonov V.V., Khusainov A.Sh., Lomakin V.V. *Teoriya avtomobilya: Uchebnoe posobie* [Theory of an automobile: Manual]. Moscow: MGТУ "MAMI", 2007. 102 p. (In Russ).

Сведения об авторе:

Годлевский Андрей Анатольевич – заведующий отделом информационно-технических, лингвистических и психологических экспертиз ФБУ Челябинская ЛСЭ Минюст России; e-mail: chel_lse@mail.ru