

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 транспортного средства (далее ТС) по видеофонограммам, выполненным стационарной камерой видеонаблюдения или автомобильным видеорегистратором, установленным на движущемся ТС. В том и другом случае зачастую используются неподвижные ориентиры на местности: знаки дорожной разметки, фонари освещения, рекламные плакаты и др. [1, с. 212–249]. Но встречаются ситуации, когда дорожно-транспортное происшествие (далее ДТП) происходит в условиях ограниченной видимости либо на 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 на данном видеорегистраторе.

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

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

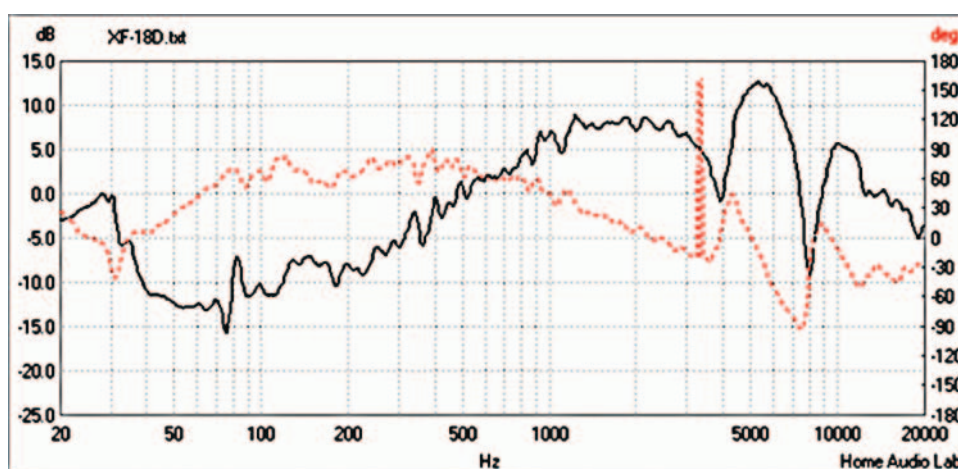


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика микрофона XF-18D.

В акустические события, сопровождающие видеофонограмму, попадает 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 наблюдать на сигналограмме гармонические сигналы с указанными частотами.

Для удобства исследования из исходной видеофонограммы звуковую составляющую необходимо скопировать в файл формата WAV, затем понизить частоту дискретизации полученной фонограммы до 600 Гц. На динамической спектрограмме в области низких частот будет наблюдаться сигнал с переменной частотой самого громкого шума двигателя – выпуска. Положение гармонической составляющей шума двигателя будет зависеть от количества тактов последнего. У четырехтактных двигателей 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 рабочего цикла (f) определяется за два оборота коленчатого вала и выражается формулой:

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

где n – количество оборотов двигателя, об/мин;

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

k – количество поршней/цилиндров двигателя;

f – частота рабочего цикла двигателя, Гц.

Средняя скорость движения транспортного средства 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 колеса, с.

Зная радиус качения ведущих колёс ТС (r_k), можно определить путь, пройденный за один оборот колеса:

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

Период вращения колеса 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:

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

Предлагаемый 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, на момент производства экспертизы состояние дорожной обстановки изменилось, положение ориентиров поменялось.

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

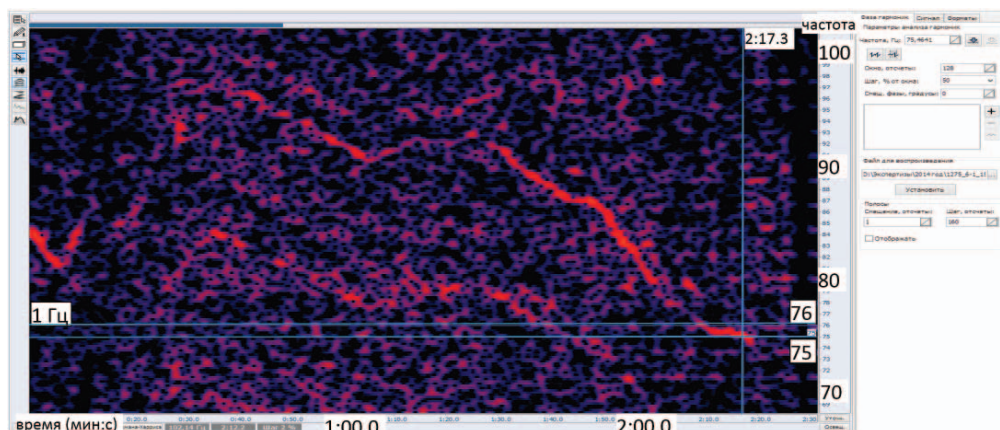


Рис. 2. Рабочее окно программы «ОТ Expert 5.1», динамическая спектрограмма звука работы двигателя автомобиля ВАЗ-21099. Гармонический сигнал рабочего цикла двигателя наблюдается в виде красной линии.

С помощью инструмента «параметры анализа гармоник» 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 четырёхтактный и четырёхцилин-

двовый. Таким образом, количество оборотов двигателя:

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

По справочным данным [3] устанавливаются остальные величины, входящие в формулу: $r_k = 0,28$ м, $i_o = 3,94$, $i_v = 0,784$.

С учетом полученных данных скорость автомобиля с видеорегистратором составляла:

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

При определении скорости по следам торможения было установлено, что транспортное средство двигалось со скоростью 78 км/ч. Сходство результатов говорит о работоспособности способа определения скорости по звуку работы двигателя.

Анализ применяемой формулы показал, что точность определения скорости сильно зависит от радиуса качения ведущих колёс ТС. На транспортном средстве могут быть установлены колеса, не предусмотренные его техническими характеристиками. Данное обстоятельство следует учитывать при расчетах, и по необходимости, если такие данные отсутствуют в протоколе об административном правонарушении, запрашивать сведения об автомобильной покрышке. Радиус качения ведущих колёс ТС рассчитывается 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 диагональных шин автомобиля, 0,80–0,85 – для радиальных) [4];

P – ширина протектора шины, мм;

H – профиль (высота шины), %;

R – посадочный диаметр, дюйм.

Например, маркировка покрышки 175/80R13 обозначает ширину шины (P) 175 мм, высоту шины (H) в 80 % от ширины и посадочный диаметр (R) 13 дюймов. Радиус качения ведущих колес при этих данных будет равен 0,277 м. При этом маркировка R означает, что шина – радиальная.

Также важно знать, какая передача была установлена на коробке переключения передач (далее КПП) (рис. 3, 4).

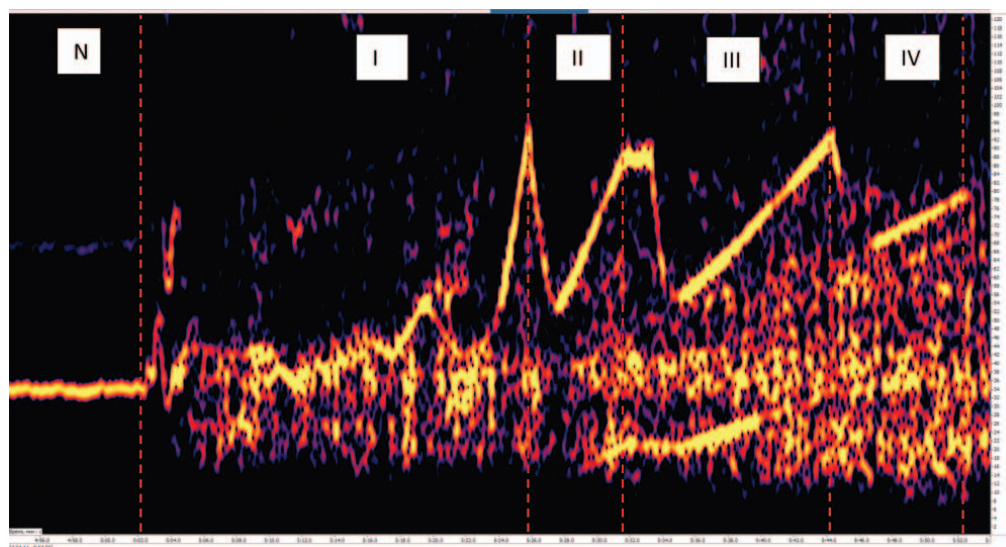


Рис. 3. Рабочее окно программы «ОТ Expert 5.1», динамическая спектрограмма звука работы двигателя автомобиля ВАЗ-212300.

N – нейтральное положение КПП; I-IV – номер передачи КПП.

Если на видеофонограмме зафиксирован звук работы 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 как:

$$\frac{n_{K+1}}{n_K} = \frac{i_{K+1}}{i_K} . \quad (7)$$

Например, в случае, представленном на рисунке 3, автомобиль двигался по дороге с асфальтобетонным покрытием без уклона. Таким образом, при смене передачи I→II гармоника меняет свое положение с 92 на 53 Гц, т.е. в 1,74 раза, 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 передач произошло переключение. При движении автомобиля по дороге с уклоном необходимо вводить поправки на потерю скорости при переключении передач.

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

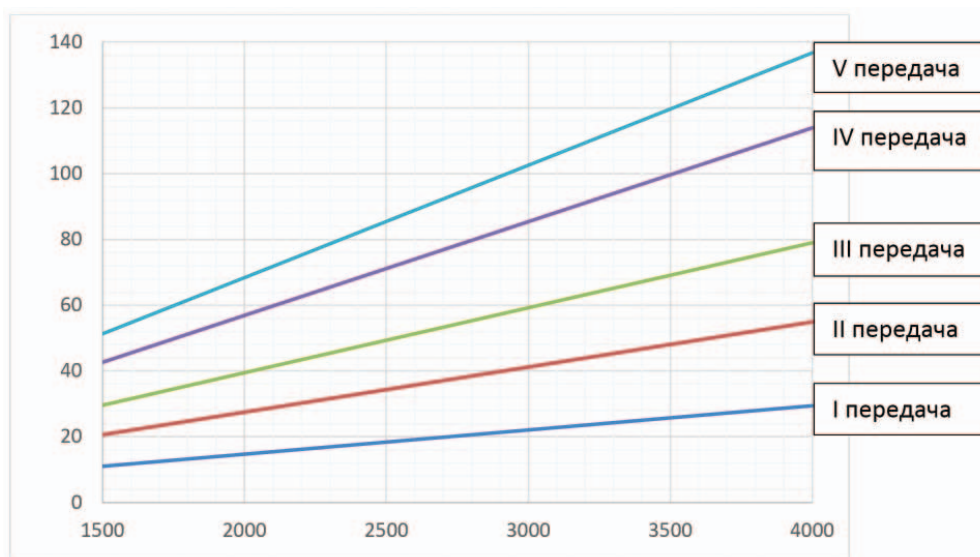


Рис. 4. Скорость движения транспортного средства (ВАЗ-21099) в зависимости от оборотов двигателя и номера включенной передачи.

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

Апробацию работы проводили ведущие государственные эксперты ФБУ Сибирский РЦСЭ Минюста России и ФБУ Томская ЛСЭ Минюста России – С.А. Кривощевков и Ю.А. Денисов.

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

на звукозапись во время проведения эксперимента. Для анализа использовался кепстр первой гармоники / 4 ($f_1/4$), так как в данной 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 апробации:

1. Предложенный способ определения скорости по звукозаписи видеорегистратора пригоден для практического применения. Это подтверждается совпадением результатов, полученных путем вычисления количества оборотов двигателя автомобиля посредством кепстрального 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 способа установки видеорегистратора в его салоне. 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 передача вибрационного сигнала с корпуса автомобиля на корпус видеорегистратора.

4. Не зафиксировано 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 на динамической спектрограмме присутствует несколько гармоник и возникает опасность исследовать не ту гармонику (рис. 5).

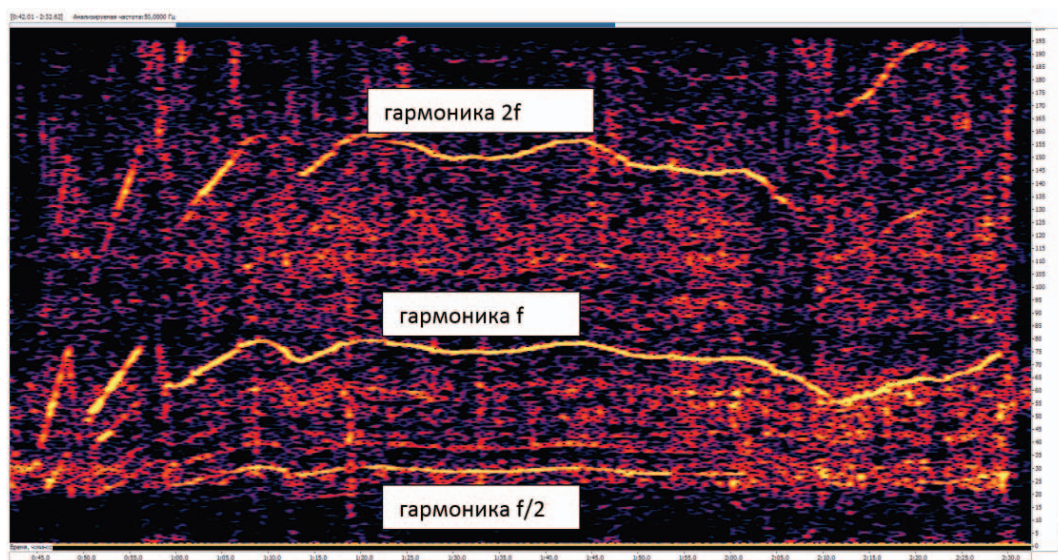


Рис. 5. Рабочее окно программы «ОТ Эксперт 5.1», динамическая спектрограмма звука работы двигателя автомобиля ВАЗ-212300. Гармоники частот, соответствующих вращению вала двигателя (f).

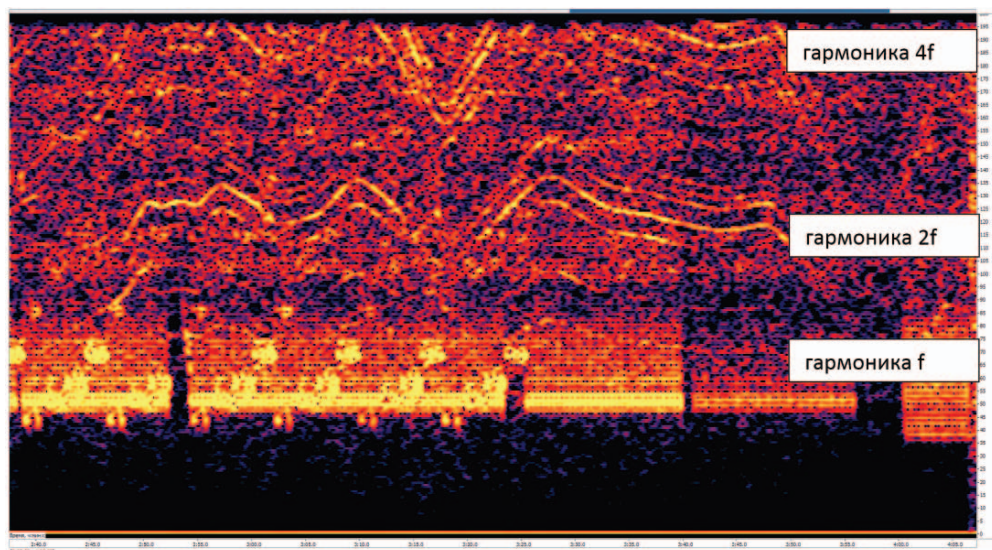


Рис. 6. Рабочее окно программы «OT Expert 5.1», динамическая спектрограмма звука работы двигателя автомобиля Iran Khodro Samand. Гармоники частот, соответствующих вращению вала двигателя (f).

На рис. 5 чувствительность микрофона и формат записи позволяют зафиксировать частоту гармоники, соответствующую вращению вала двигателя / 2 ($f / 2$), а на рис. 6 – только частоту гармоники, 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 гармоники f находится в пределах 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. Пронина, П.Г. Лесниковой – Нижний Новгород, 2014. – 406 с.
2. Пучкин В.А. Основы экспертного анализа дорожно-транспортных происшествий. База 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., Хусаинов А.Ш., Ломакин 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 seminara, 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 Минюста России; e-mail: chel_lse@mail.ru