

УДК 629.016

Экспериментальный анализ акустической эмиссии ведущего моста грузового автомобиля при утечке масла в экспериментальных условиях

Адамович Мария Борисовна^{1, 2(*)} adamovichmb@student.bmstu.ru
SPIN-код: 2710-5571

Абойан Григор Миранович¹ aboyan@bmstu.ru

Карташов Александр Борисович¹ kartashov@bmstu.ru
SPIN-код: 9896-2452

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

² НИИСФ РААСН, Москва, Россия

Аннотация. В работе рассмотрены результаты с использованием предиктивных методов диагностики трансмиссионного агрегата автомобиля по шуму и вибрации. По экспериментальным исследованиям агрегата в статике и в динамике получены зависимости виброакустических показателей от одного из вида неисправности: утечка трансмиссионного масла из редукторной части моста трехосного грузового транспорта средства. Эксперименты проводились на специализированном стенде с использованием микрофонов и вибродатчиков. Так же приведен сравнительный анализ используемых методов диагностики по шуму и вибрации.

Ключевые слова: виброакустика, стендовые испытания, вибрации, шум, предиктивные методы, утечка масла, ведущий мост, грузовая транспортная колесная машина

Experimental analysis of acoustic emission of a truck drive axle during oil leakage under experimental conditions

Adamovich Maria Borisovna^{1, 2(*)} adamovichmb@student.bmstu.ru
SPIN-code: 2710-5571

Aboyan Grigor Miranovich¹ aboyan@bmstu.ru

Kartashov Alexander Borisovich¹ kartashov@bmstu.ru
SPIN-code: 9896-2452

¹ BMSTU, Moscow, Russia

² Research Institute of Building Physics, Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia

Abstract. This paper examines the results of predictive noise and vibration diagnostics for vehicle transmissions. Experimental studies of the transmission in static and dynamic conditions were used to determine the dependence of vibroacoustic parameters on one type of malfunction: transmission oil leakage from the axle gearbox of a three-axle truck. The experiments were conducted on a specialized test bench using sound level meters and vibration sensors. A comparative analysis of the noise and vibration diagnostic methods used is also provided.

Keywords: vibroacoustics, bench tests, vibrations, noise, predictive methods, oil leak, drive axle, cargo transport wheeled vehicle

Введение. Своевременные методы диагностики с каждым годом совершенствуется, что дает возможность использования новых, более эффективных способов контроля технического состояния автомобиля. Своевременная диагностика и устранение неисправностей и заблаговременное предотвращение серьезных автомобильных аварий важна и не требует.

Многие авторы и исследователи занимались развитием направления анализа виброакустических характеристик трансмиссий. Это такие как А.И. Тараторкин [1], В.Н. Костюков [2], О.Т. Аксенов [3], А.А. Скворцов [4], Д.В. Калинин [5] и другие, но все они в основном изучали виброакустику, связанную с телами вращения: зубчатые колеса и подшипники. Однако, как показывает статистика, неисправность, связанная с утечкой масла занимает хоть и немного, но все же 6 % от всех отказов механических трансмиссий серийных машин [1], при этом посвященных этой проблеме работ не так много, и те что имеются [6], опускают возможность диагностики по акустическим эмиссиям.

Целью экспериментального исследования является диагностирование неисправности, связанной с уменьшением трансмиссионного масла в картере редуктора, с целью выявления акустических зависимостей.

Задачами, поставленными для экспериментальных исследований, являлись:

- определение уровней звукового давления (УЗД), излучаемых картером моста, работающего в стационарном режиме и в режиме «разгон — торможение»;
- анализ полученных данных;
- определение критериев, характеризующих изменения УЗД моста при оборотах на стационарном режиме (с нагрузкой на колесе 1000 Н · м) 500, 600, 700 об/мин;
- определение критериев, характеризующих изменения УЗД моста на режиме «разгон-торможение», когда в течении двух минут осуществляется разгон со 100 до 700 об/мин после выхода на режим происходит плавное торможение до 100 об/мин. Нагрузка на колеса подается в 1000, 2500, 5000 Н · м; уровень трансмиссионного масла в обоих случаях составляет: 1; 2,5; 5; 7,5 и 13 л.

Методы и материалы. Авторами статьи было проведено исследование акустических характеристик второй оси грузового автомобиля на специальном испытательном при средней температуре воздуха окружающей среды 22 °С.

Эксперимент проводился с использованием рекомендаций установленных в нормативном документе [7]. Расстояние от микрофонов и до исследуемого агрегата 1 м, от пола 1,5 м для первого микрофона и 2 м для второго (рис. 1). Помимо микрофонов использовались 7 одноосевых акселерометров, которые жестко прикреплялись на подготовленную поверхность редукторной части моста с помощью специальных винтов [2].

Места крепления семи акселерометров выбирались с тем учетом, что бы было относительно удобно и надежно закрепить датчик, а также с учетом

расположения подшипниковых узлов и валов с зубчатыми колесами. В таком случае достигаются как можно более короткие и хорошо определяемые пути распространения механических колебаний от источников к датчикам.

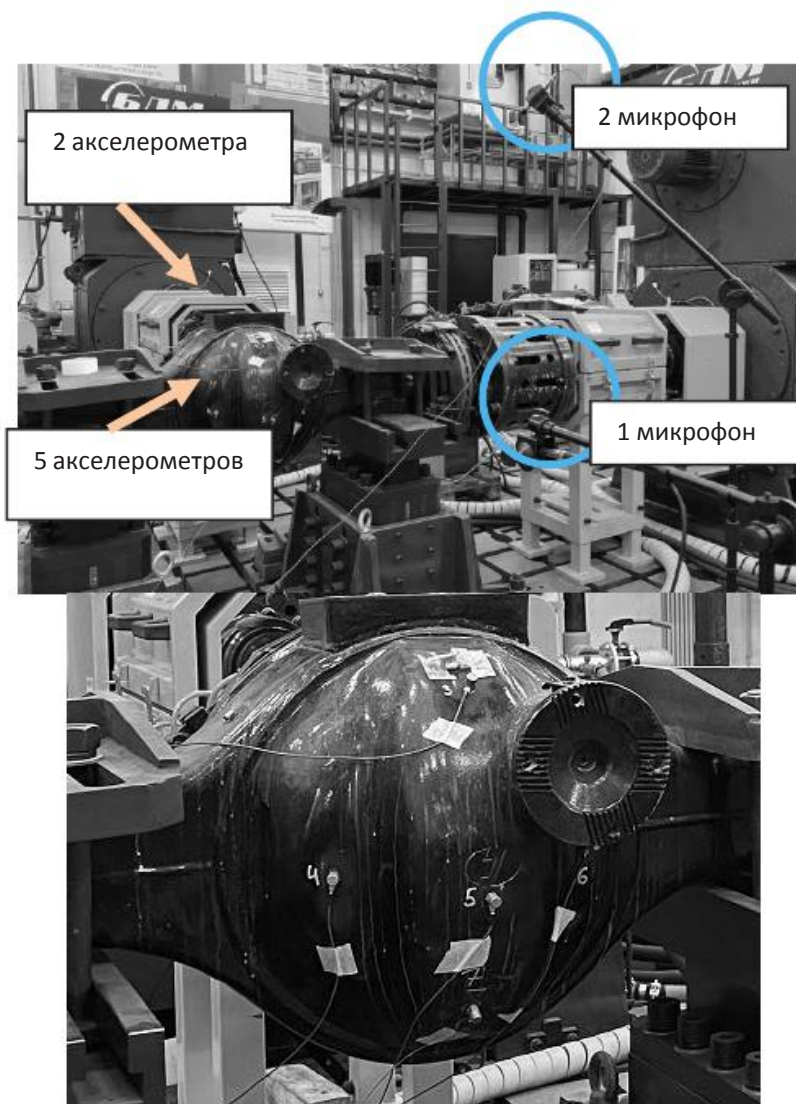


Рис. 1. Схема установки датчиков

Удлинительные кабели для безопасности были зафиксированы при помощи строительного скотча на поверхности картера и при помощи зажимов на стойках для микрофонов. Данные снимались программным обеспечением DeweSoft.

Мост, установлен на стенде, имитирующий работу силовой установки (двигателя) и сопротивление от дороги. Сам мост имеет следующие характеристики: 13 т — его номинальная нагрузка; 4,124 — передаточное отношение; 13 л — номинальный объем масла в редукторе.

Рассматриваемый дефект вносит такие изменения в работу редуктора как: быстрый рост температуры внутренних деталей, повышенное трение, ведущее к быстрому износу и возможной выхода из строя агрегата.

При рассмотрении трения твердых тел, можно выделить три вида колебаний [8]:

- автоколебания, образующиеся в результате изменения статистических, динамических или кинематических условий сопряжений твердых тел;
- эмиссионные сигналы в объеме тела, вызванные пластическим деформированием и разрушением поверхности трения;
- поверхностные волны.

При сухом трении (для нашего случая крайняя вероятность) твердых тел происходят пластические деформации вершин микрон неоднородностей поверхности, а также «слипание» тел на участках истинного контакта, где действуют силы молекулярного сцепления. Шумы, связанные с трением, характеризуются излучением сигналов небольшой амплитуды и большой длительности.

Эффекты схватывания поверхностей, фрикционный перенос, прорыв масляной пленки сопровождаются качественным изменением спектральных характеристик. В момент появления на дорожках трения кольцевых микро-трещин формируется устойчивый эмиссионный спектр, близкий по форме к «гауссовой кривой» с максимумом на высоких частотах.

Особенности частотного спектра при трении:

- наличие характерной частоты, излучение на которой максимально;
- линейный с увеличением частоты рост интенсивности в низкочастотной области спектра и кубический спад ее в высокочастотной области.

Для сравнительного анализа диагностики агрегата в настоящей статье применяются два глобальных подхода: измерение виброакустических показателей при работе в стационарном режиме и в режиме «разгон — торможение». В первом варианте длительность записи составляет 30 с, за данное время подается постоянная нагрузка на колесо $1000 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Обороты силовой установки и объем трансмиссионного масла в редукторе моста с каждой последующей записью изменяется. Второй подход включает в себя плавный разгон до 700 оборотов в минуту, примерно 15 с работы в устоявшемся режиме и последующее плавное торможение. Работа при масляном голодании, когда в картере находится около 1 л масла, не проводилась, в целях обеспечения безопасности. По этой же причине исключена работа с 2,5 л масла при работе с нагрузкой на колесе $5000 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Результаты. В результате серий натурных испытаний при двух подходах к анализу получены значения УЗД, снятые первым микрофоном (рис. 2). Анализируя данные в первом случае, видим, что значения для 500 об/мин варьируются от 76,5 до 79,5 дБА и лишь при масляном голодании наблюдается повышенная шумность. Для 600 об/мин — от 79 до 81 дБА. Частота вращения в 700 об/мин дает окно значений от 79 до 80 дБА. То есть с ростом числа оборотов двигателя УЗД увеличивается, а график уплотняется. Для второго случая наблюдается та же тенденция.

Следующий метод, подразумевает анализ АЧХ (амплитудно-частотная характеристика). Для анализа были взяты два режима с нагрузкой на колесе $1000 \text{ Н} \cdot \text{м}$ (рис. 3). Было установлено, что АЧХ по всей частотной области не

имеете явных расхождений. Наблюдается только одна частота 3 кГц с явно выраженным пиком, значения которых можно анализировать, при этом в режиме «разгон — торможения» значения имеют большую разницу в сравнении между собой.

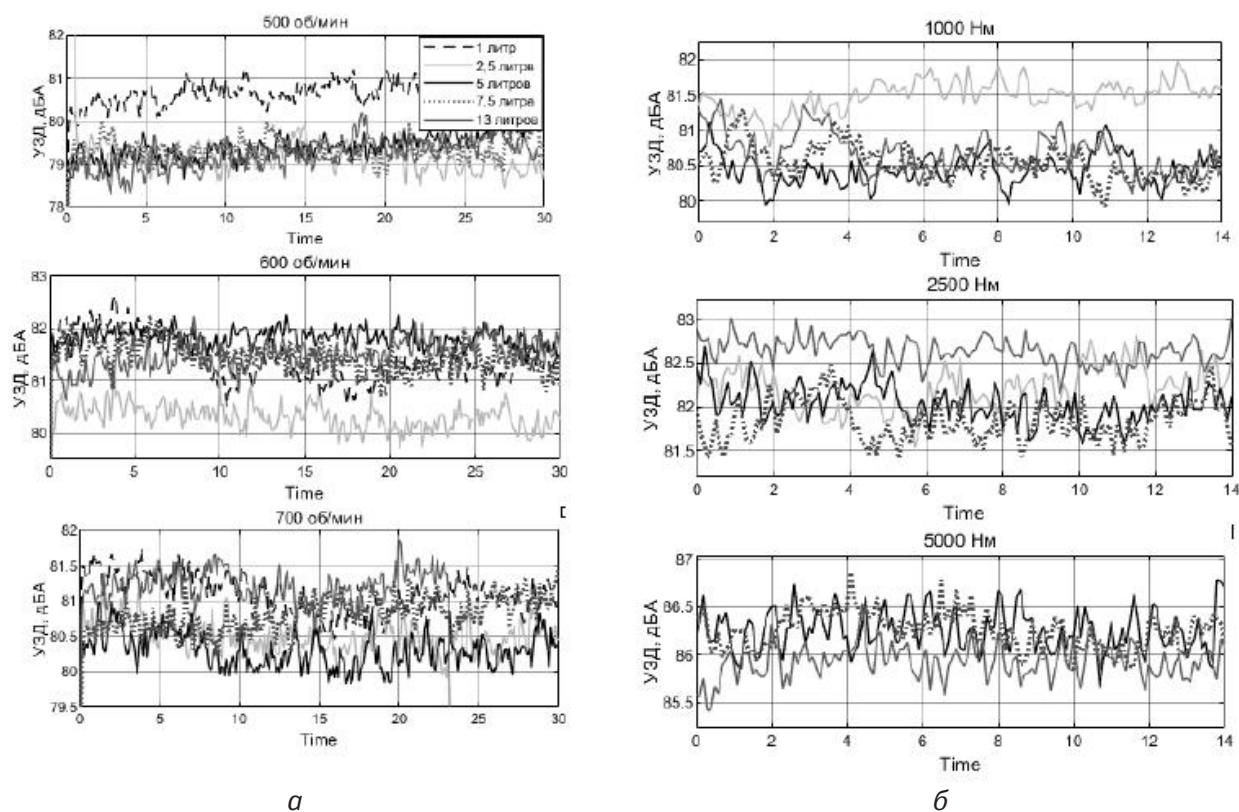


Рис. 2. Характер изменения УЗД во времени
а — стационарный режим; б — режим «разгон — торможение»

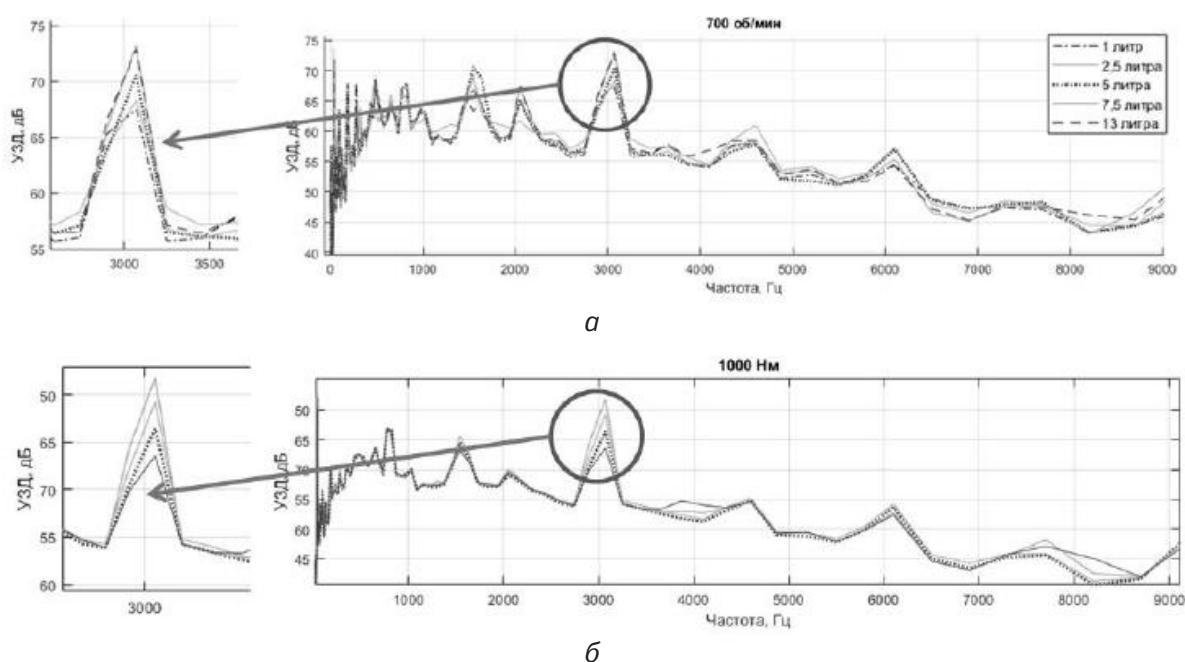


Рис. 3. АЧХ при различных режимах и уровнях масла
а — стационарный режим; б — режим «разгон-торможение»

Получены средние величины УЗД за 30-секундный промежуток времени для стационарного режима, за 2-минутный — для режима «разгон — торможение», в соответствии с формулой (рис. 4, а, б):

$$L_{A, экв} = 10 \cdot \lg \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{0.1(L_{Ai})}, \text{ дБА},$$

где T — общее время воздействия шума, с; L_{Ai} — УЗД каждой октавной полосы, дБА.

Также были взяты в сравнение одночисловые показатели УЗД при частоте 3кГц (рис. 4, в, г). При работе моста с установившейся частотой вращения по мере увеличения оборотов силовой установки и трансмиссионного масла увеличивается $L_{A, экв}$, при режиме «разгон — торможение» тенденция противоположная.

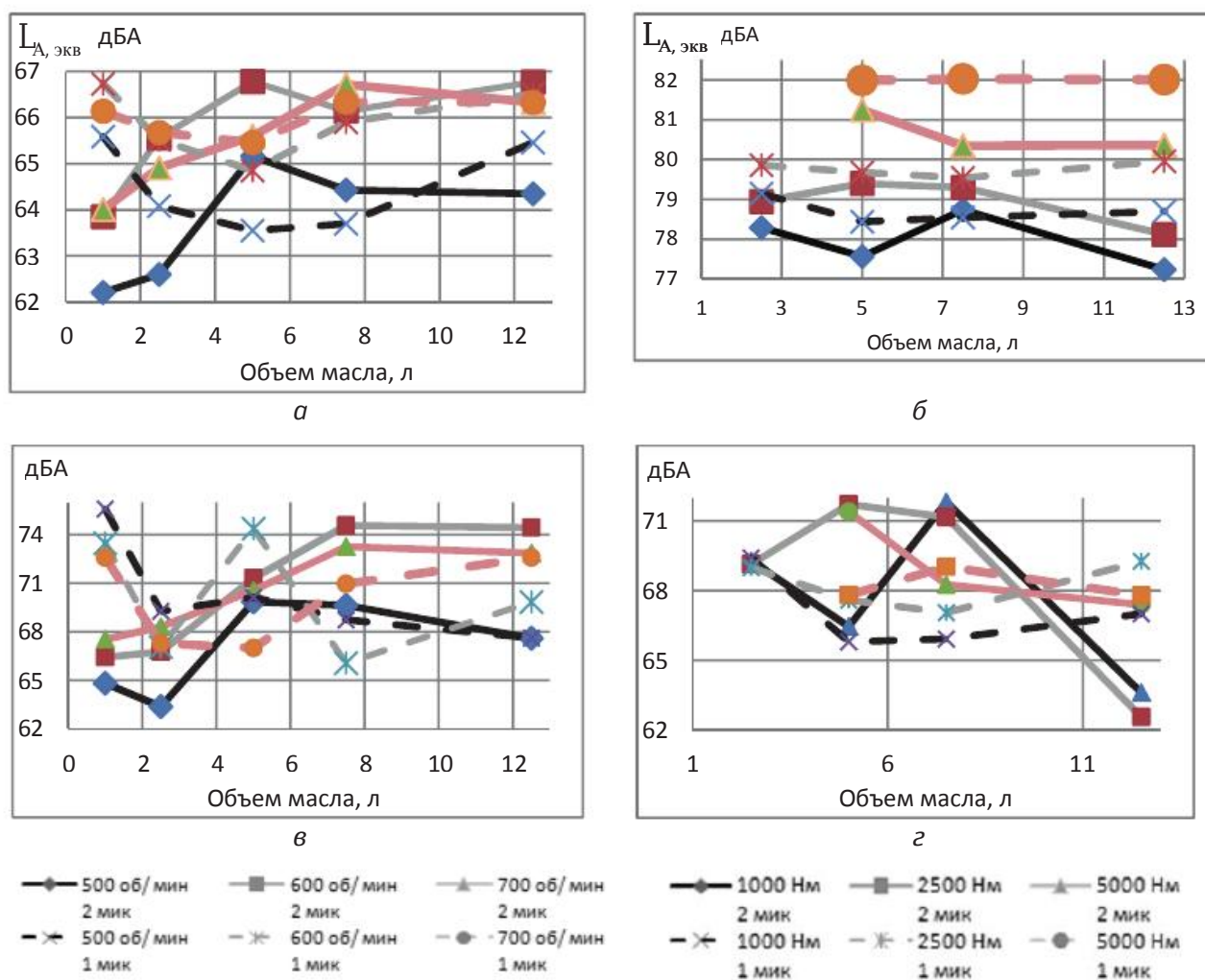


Рис. 4. Сравнения УЗД при обработке результатов различными способами:

а — стационарный режим, эквивалентное значение на всем частотном диапазоне; б — режим «разгон-торможение», эквивалентное значение на всем частотном диапазоне; в — стационарный режим, пиковое значение; г — режим «разгон-торможение» пиковое значение

Установленные акселерометры выявили снижение вибраций по мере увеличения объема трансмиссионного масла (рис. 5).

Вибродатчик «В_5», установленный на корпусе в непосредственной близости с задним валом среднего моста, фиксирует пик виброускорения на частоте 3 кГц, что может говорить о внесении существенного вклада в излучаемый звуковой спектр именно этой деталью. При этом стоит учитывать, что нагрузка на задний вал, в виде третьей оси не прилагалась.

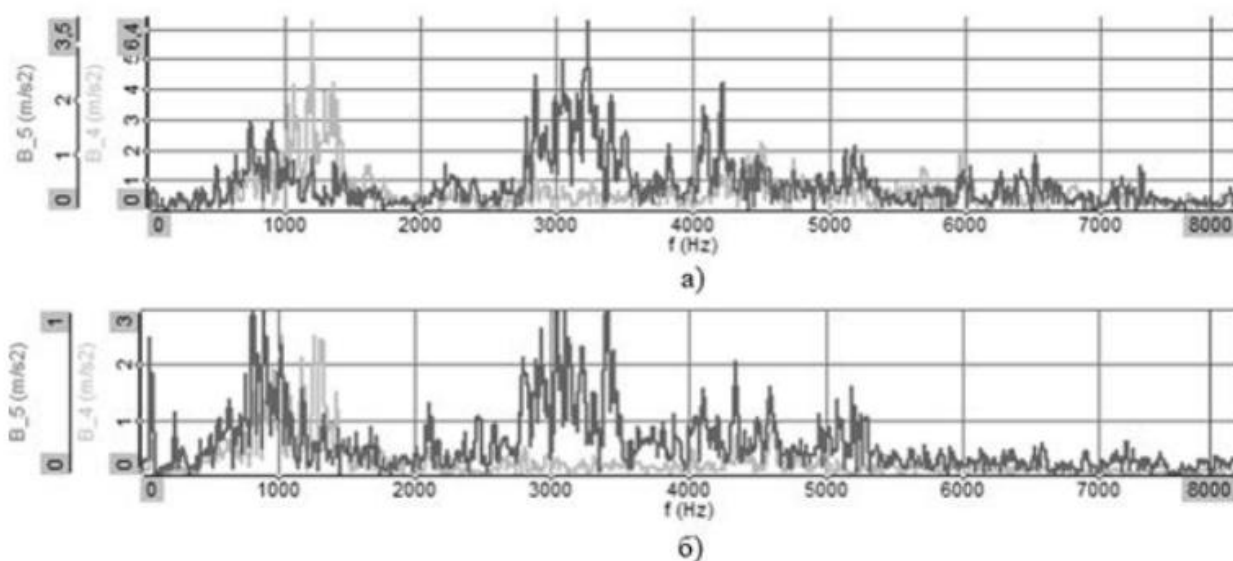


Рис. 5. Спектры виброускорений в режиме «разгон-торможение»:

а — 1000 Нм, 2,5 л; б — 1000 Нм, 13 л

Заключение. Предварительный анализ показал, что при постоянных значениях оборотах силовой установки АЧХ имеет незначительное количество отличий, что не позволяет оценить техническое состояния агрегата. Установлено — для оценки неисправности агрегата следует опираться на режим «разгон-торможение» и рассматривать пиковые значения на показательной частоте (рис. 4, з). Также рационально опираться на значения эквивалентного УЗД в режиме «разгон — торможение» (рис. 4, б).

Наблюдаемый рост УЗД с ростом количества трансмиссионного масла в редукторе, может свидетельствовать либо о вспенивании масла и, следовательно, о снижении его вязкости, либо о происходящих внутри процессах кавитации.

Список источников

- [1] Тараторкин А.И. *Научные методы снижения динамической и виброакустической нагруженности силовых передач колесных и гусеничных машин путем вариации модальных свойств машин принятия решений*. Дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, ФГБУ институт машиноведения УрО РАН, 2021, 371 с.

-
- [2] Костюков В.Н., Науменко А.П. *Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин*. Омск, Изд-во ОмГТУ, 2011, 360 с.
 - [3] Аксенова О.Т. *Промышленная акустика*. Благовещенск, Амурский гос. ун-т, 2011, 132 с.
 - [4] Скворцов А.А. *Разработка методики виброакустической оценки дефектов ведущих мостов легковых автомобилей для бортовой системы диагностирования агрегатов трансмиссии*. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», 2015, 22 с.
 - [5] Калинин Д.В. *Разработка метода расчета динамических нагрузок в высоконагруженных зубчатых передачах планетарных редукторов ТРДД*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, ЦИАМ им. П.И. Баранова, 2021, 197 с.
 - [6] Кудреватых А.В. *Диагностика фактического технического состояния редукторов экскаваторно-автомобильных комплексов*. Кемерово, КузГТУ, 2018, 183 с.
 - [7] ГОСТ 27243–2005. *Шум машин. Определение уровней звуковой мощности по звуковому давлению. Метод сравнения на месте установки*. Москва, Стандартинформ, 2006.
 - [8] Оглезнева Л.А., Калиниченко А.Н. *Акустические методы контроля и диагностики. Часть II*. Томск, Изд-во Томского политехнического университета, 2009, 292 с.