

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ШУМА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ ОПЕРАТОРА КОМБАЙНА

В. А. Дюбин

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель В. Б. Попов, канд. техн. наук, доцент

В настоящее время на внутреннем и внешних рынках растет конкуренция между производителями зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов. Одной из важных составляющих, обеспечивающих улучшение комфортабельности и условий труда обслуживающего персонала комбайнов, является снижение уровня шума на рабочем месте оператора.

В данной статье рассматриваются методы анализа уровня шума на рабочем месте оператора комбайна. Основными источниками шума комбайна являются двигатель, вентилятор и радиатор системы охлаждения, рабочие органы и элементы трансмиссии комбайна. В настоящее время общепринято [1] подразделять шум в зависимости от среды распространения упругих волн на:

- воздушный, обусловленный передачей звука от источника к точке наблюдения по воздуху или через ограждающие конструкции;
- структурный, обусловленный излучением шума вибрацией ограждающих конструкций.

Частотный диапазон воздушного и структурного шума [2] показан на рис. 1.

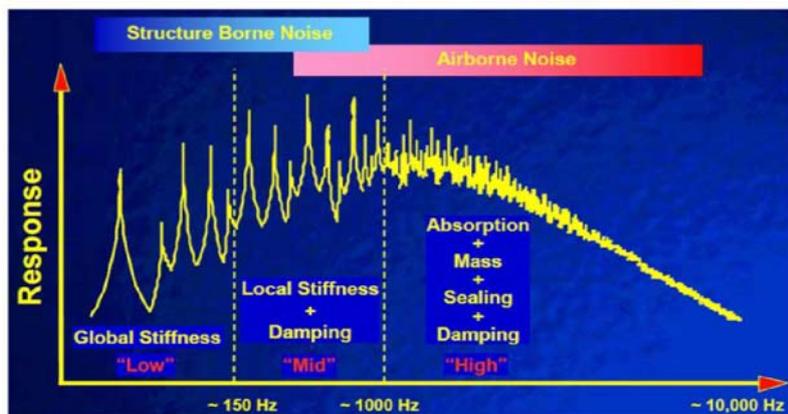


Рис. 1. NVH-анализ. Частотный диапазон. 2011 SAE NVC Structure Borne Noise Workshop. Ось X – частота, Гц. Ось Y – отклик (звуковое давление, дБ).

Диапазон частот разделен на низкие частоты (до 150 Гц), средние частоты (150–1000 Гц), высокие частоты (свыше 1000 Гц). Структурный шум (Structure Borne Noise) вносит существенный вклад на низких и средних частотах, а воздушный шум (Airborne Noise) – на средних и высоких частотах

Для теоретического определения уровней шума в кабине прежде всего следует дать математическое описание уровней звукового давления от каждого отдельного источника. Уровни шума в кабине при одновременном воздействии нескольких звучащих источников определяются по принципу суммирования. При таком подходе становится возможным выявить вклад от различных источников в звуковое поле кабины, а также определить количественное превышение над нормативными значе-

ниями в соответствующих интервалах частот и на этой основе выбрать способы по доведению шумовых характеристик и предельно допустимых уровней [3].

Для математического описания виброакустических характеристик используют приближенные аналитические методы и расчетно-экспериментальные методы.

Приближенные аналитические методы рассматривают простые расчетные схемы комбайна, состоящие из системы дискретных элементов. Например [3], воздушная составляющая шума в кабине комбайна определяется через уровни звуковой мощности корпуса двигателя, выпуска, рабочих органов; площади элементов ограждения кабины; средний коэффициент звукопоглощения в кабине, площадь внутренней поверхности кабины; расстояния от рабочего места до среза выпускной трубы, торца двигателя, рабочих органов; звукоизоляцию элементов ограждения и добавки к звукоизоляции элементов ограждения в зависимости от расположения кабины к источнику звука; эффективность акустических экранов.

Для расчета структурного шума [3] предложена акустическая модель кабины комбайна в виде прямоугольного параллелепипеда. Задача расчета излучения структурного шума сведена к определению амплитуд виброскоростей пола, каждой из стенок и потолка кабины. Для упрощения расчетов использованы энергетические методы.

Приближенные аналитические методы позволяют учитывать при расчете уровня шума приблизительный вклад от основных источников, но точность таких расчетов является низкой, а используемые расчетные модели – слишком упрощенными, не учитывающими сложную геометрическую форму узлов и деталей.

Расчетно-экспериментальные методы предназначены преимущественно для доводки виброакустических характеристик существующих машин. В их основе лежит энергетический метод, однако все необходимые коэффициенты определяются экспериментально [4].

Современным подходом в применении расчетно-экспериментальных методов является анализ путей передачи (transfer path analysis, TPA).

Анализ путей передачи – это процедура, основанная на эксперименте или моделировании, которая позволяет отслеживать поток виброакустической энергии от источника, через ряд известных путей передачи, к приемнику в данном расположении. Цель состоит в том, чтобы определить вклад каждого из путей передачи от источника к приемнику, затем определить компоненты данного пути, которые нужно изменить для решения определенной проблемы – и, возможно, оптимизировать конструкцию, выбирая требуемые характеристики для этих компонентов [5].

При создании модели для анализа путей передачи систему делят на активную и пассивную части. Активная часть содержит источники, а пассивная – точки приема, в которых измеряют отклик. Связующим звеном между активной и пассивной частью, характеризующим отношение между приемником и источником, являются передаточные функции (ПФ) по шуму, также называемые частотными характеристиками. Используя данную модель, отклик (уровень звукового давления) в точке приема можно выразить как [5]:

$$y_k(\omega) = \sum_{i=1}^n y_{ik}(\omega) + \sum_{j=1}^p y_{jk}(\omega); \quad (1)$$

$$y_{ik}(\omega) = H_{ik}(\omega)F_i(\omega); \quad (2)$$

$$y_{jk}(\omega) = H_{jk}(\omega)Q_j(\omega), \quad (3)$$

где $y_k(\omega)$ – отклик (уровень звукового давления) в точке приема k ; $y_{ik}(\omega)$ – вклад i -х путей передачи структурного шума; $y_{jk}(\omega)$ – вклад j -х путей передачи воздушного шума; $F_i(\omega)$ – воздействие (сила) на i -й путь передачи структурного шума; $Q_j(\omega)$ – воздействие (производительность или объемная скорость источника, м³/с) на j -й путь передачи воздушного шума; $H_{ik}(\omega)$ – ПФ i -го пути передачи структурного шума; $H_{jk}(\omega)$ – ПФ j -го пути передачи воздушного шума; ω – круговая частота (рад/с); n – количество путей передачи структурного шума; p – количество путей передачи воздушного шума.

Измерение ПФ может быть выполнено методами прямых измерений и измерений с использованием принципа взаимности. Прямые измерения ПФ структурного шума проводят, возбуждая конструкцию вибровозбудителем или измерительным молотком и измеряя звуковое давление на рабочем месте микрофоном. ПФ воздушного шума измеряют путем озвучивания конструкции с помощью ненаправленного «точечного» источника с измерением звукового давления на рабочем месте при помощи микрофона

При измерениях с использованием принципа взаимности ненаправленный «точечный» источник помещается на рабочем месте оператора комбайна, а отклик (звуковое давление для воздушного шума и виброскорость для структурного шума) измеряется на элементах конструкции. В этом случае для ПФ справедливы соотношения:

$$\frac{P_1}{Q_1} = \frac{P_2}{Q_2}, \quad (4)$$

где P_1 – звуковое давление на рабочем месте оператора; Q_1 – производительность ненаправленного «точечного» источника; P_2 – звуковое давление на элементе конструкции; Q_2 – производительность ненаправленного «точечного» источника при измерениях с использованием принципа взаимности;

$$\frac{P}{F} = \frac{v}{Q}, \quad (5)$$

где P – звуковое давление на рабочем месте оператора при измерениях прямым методом; F – воздействие (сила), приложенная к элементу конструкции; v – виброскорость на элементе конструкции; Q – производительность ненаправленного «точечного» источника, источник расположен на рабочем месте оператора комбайна.

Измерения на основе принципа взаимности во многих случаях обладают рядом преимуществ по сравнению с прямыми измерениями.

Таким образом, на современном этапе для систематизации исследований и доводки конструкции могут быть применены расчетно-экспериментальные методы расчета уровня звука на рабочем месте оператора комбайна, но их применение ограничено необходимостью проведения длительных экспериментов.

Литература

1. Иванов, Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом : учебник / Н. И. Иванов. – М. : Унив. кн., Логос, 2008. – 424 с.

-
2. 2011 SAE NVC Structure Borne Noise Workshop. – Mode of access: <http://www.sae.org/events/nvc/workshops/2011/AlanEDuncan.pdf>. – Date of access: 07.12.2013.
 3. Месхи, Б. Ч. Улучшение условий труда операторов комбайнов за счет снижения шума и вибрации : дис канд. техн. наук: 05.26.01 / Б. Ч. Месхи. – Ростов-н/Д, 1999. – 132 с.
 4. Руссинковский, В. С. Разработка метода расчета вибрации и структурного шума корпусных деталей автомобильных дизелей : дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / В. С. Руссинковский. – М., 2005. – 183 с.
 5. TRANSFER PATH ANALYSIS The qualification and quantification of vibro-acoustic transfer paths. – Mode of access <http://www.lmsintl.com/download.aspx?id=A5AF1B71-301F-4DB2-992F-D8A213AE37F2>. – Date of access: 07.12.2013.