

РАСЧЕТ ШУМА В КАБИНАХ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

© 2010 А.Е. Шашурин

Балтийский государственный технический университет
“Военмех” им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 14.12.2010

Проведены экспериментальные исследования генерации шума в кабинах машин. Исследован вклад структурного шума. Рассмотрены генерация и источники аэродинамического шума.

Ключевые слова: шум, дорожная машина, кабина, расчет, снижение

1. ВВЕДЕНИЕ

Звукоизолирующая кабина – универсальное и эффективное средство снижения шума на рабочих местах операторов и водителей тракторов, строительно-дорожных машин, грузовых автомобилей и пр. Эти кабины имеют свою специфику, в том числе:

- малые объёмы;
- большая площадь остекления;
- наличие вибрации, передаваемой на элементы ограждения кабины от силовой установки;

Вклад воздушного шума – основной в процессах шумообразования в кабинах строительно-дорожных машин. Он зависит от интенсивности и характера источников шума (точечный, линейный или плоский), взаимного расположения элементов кабины и источников шума, звукоизолирующих свойств элементов ограждения (панелей) кабины.

2. РАСЧЁТЫ ШУМА В КАБИНАХ

Были предложены основные расчётные схемы СДМ, а также получены формулы расчёта (табл. 1). Были рассмотрены следующие схемы:

- точечный источник, расположенный в пространстве, полупространстве или четвертьпространстве;
- плоский источник, расположенный в пространстве;
- мнимый точечный источник звука, расположенный в полупространстве;
- линейный источник звука, расположенный в пространстве;
- точечный источник расположенный вплотную к панели на её плоскости.

В табл.1 приняты следующие обозначения:
 $L_{W_{ист}}$ – уровни звуковой мощности источни-

ка, дБ; $ZI_{пан1}$ – звукоизоляция панели, дБ; ПН – показатель направленности; Φ – фактор направленности источника (для ненаправленных источников $\Phi = 1$); χ – коэффициент, учитывающий размеры источника и влияние ближнего звукового поля; Ω – пространственный угол излучения (для источника, расположенного на поверхности $\Omega = 2\pi$, над поверхностью $\Omega = 4\pi$); r – расстояние от источника шума до расчётной точки, м; $\bar{\tau}_{пол}$ – коэффициент звукопроводности пола; $\alpha_{пов}$ – коэффициент звукопоглощения опорной поверхности; r – кратчайшее расстояние между проёмом и полом (этот параметр берётся для упрощения взамен путей звука, показанных на рис. 2.6); $l_{ист}$ – длина источника звука, м; $r_{ист}$ – расстояние от источника шума до ближайшей панели кабины; $W_{ист}^{кан}$ – акустическая мощность источников шума расположенных под капотом, Вт; $r_{ист}$ – расстояние от источника шума до проёма, м; $\Psi_{кан}$ – коэффициент учитывающий характер звукового поля под капотом.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ШУМООБРАЗОВАНИЯ В КАБИНЕ

Были выполнены теоретические исследования шума в кабине при изменении основных параметров. На рис. 6-7 показано как изменяется шум в кабине при изменении площади панели (Скаб) и эквивалентной площади звукопоглощения кабины (Акаб). При увеличении коэффициента звукопоглощения кабины ($b_{каб}$) выражение

$$10 \lg \frac{S_{пан}}{A_{каб}}$$

– уменьшается по экспоненте; для ре-

альных значений изменения коэффициента звукопоглощения от 0,1 до 0,35 уменьшение шума составляет почти 6дБ (рис. 6). При увеличении площади панели шум в кабине возрастает (рис. 7): приблизительно на 3дБ при каждом удвоении площади.

Александр Евгеньевич Шашурин, кандидат технических наук, доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности. E-mail: noise@mail.rcm.ru

Таблица 1. Основные расчётные схемы СДМ и формулы расчёта

№ п/п	Расчётная схема	Обозначение	Примеры на машинах	Формула для расчёта
1		1 – точечный источник; 2 – кабина; 3 – задняя панель кабины.	Выпуск в всасывание ДВС, вентилятор ДВС	$L_{каб1} = L_{\Psi_{ист}} + ПН_{ист} - 3И_{пан} + 10 \lg \frac{S_{пан}}{A_{каб}} - 10 * \lg(1 - \alpha_{каб}) - 10 \lg \frac{r_{ист}}{r_0} - 10 \lg \Psi_{каб} - k$
2		1 – звукоизолирующий капот; 2 – плоский излучатель; 3 – задняя панель кабины; 4 – кабина.	капот ДВС	$L_{каб} = L_{\Psi_{ист}} - 3И_{пан} + 10 \lg \frac{S_{пан}}{A_{каб}} + 10 \lg S_{ист} - 10 \lg \Psi_{каб} + 10 \lg \arctg \frac{ab}{2R\sqrt{4R^2 + a^2 + b^2}} - 10 * \lg(1 - \alpha_{каб})$
3		1 – источник шума; 2 – пол кабины; 3 – кабина	гидравлика под кабиной, коробка передач	$L_{каб} = L_{\Psi_{ист}} - 3И_{пан} - 10 \lg \Psi_{каб} - 10 * \lg(1 - \alpha_{каб}) - 1$
4		1 – капот; 2 – проём в капоте; 3 – кабина; 4 – пол кабины; 5 – опорная отражающая поверхность; 6 – минимальный источник; 7 – путь звука от проёма к полу.	Звук, проходящий через проём в капоте ДВС, отражаясь от земли попадает в кабину через пол	$L_{каб} = L_{\Psi_{ист}} + 10 \lg S_{пр} + 10 \lg \left(\frac{1}{2\pi r_{ист}} + \frac{4(1 - \alpha_{каб})}{\Psi_{каб} A_{каб}} \right) + 10 \lg(1 - \alpha_{пов}) - 3И_{пан} + 10 \lg \frac{S_{пол}}{A_{каб}} - 10 \lg \Psi_{каб} - 10 \lg 2\pi - 20 \lg \frac{r}{r_0}$
		1 – линейный источник; 2 – панель кабины; 3 – кабина; 4 – звуковая волна.	Рабочий орган	$L_{каб} = L_{\Psi_{ист}} + 10 \lg \arctg \frac{l_{ист}}{2r_{ист}} - 3И_{пан} + 10 \lg \frac{S_{пан}}{A_{каб}} - 10 \lg \frac{l_{ист}}{l_0} - 10 \lg \frac{r}{r_0} - 10 * \lg(1 - \alpha_{каб}) - 10 \lg \Psi_{каб} - 2$

На шум в кабине влияют геометрические параметры плоского излучателя и расстояния от него до кабины (рис. 8, 9). Эти зависимости выражены экспоненциальными закономерностями. При увеличении линейного размера плоского излучателя в 5 раз шум в кабине возрастает на 6 дБ. При увеличении расстояния плоский источник переходит в источник сферической звуковой волны и шум в кабине снижается (рис. 9).

На рис. 10 показано как изменяется шум в кабине при изменении длины линейного источника. При измерении длины источника на от 0,3 до 1,5 поправка составляет 7дБ.

Чем больше расстояние от линейного источника, тем шум в кабине меньше. При изменении расстояния в 5 раз поправка на влияние линейного излучателя изменяется на 6 дБ.

На рис. 14 и 15 показано как влияет изменение характера звукового поля под капотом на

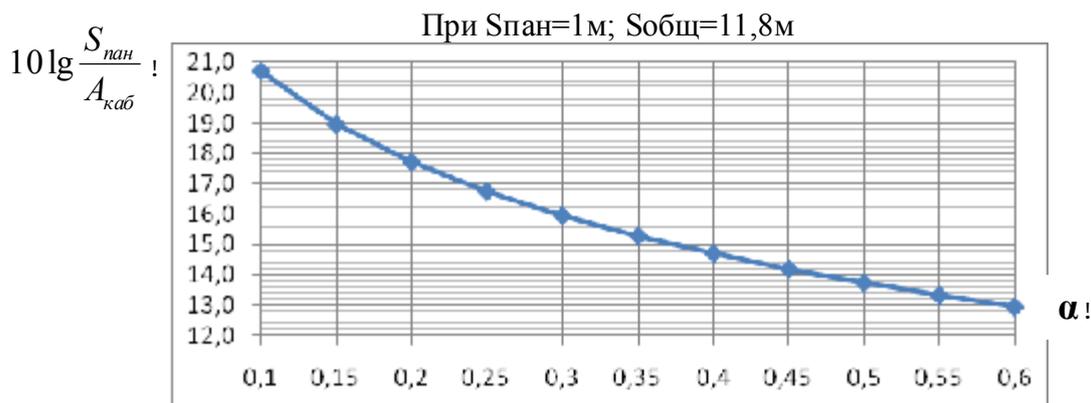


Рис. 6. Зависимость $10 \lg \frac{S_{пан}}{A_{каб}}$ при изменении коэффициента звукопоглощения ($\alpha_{каб}$) в кабине

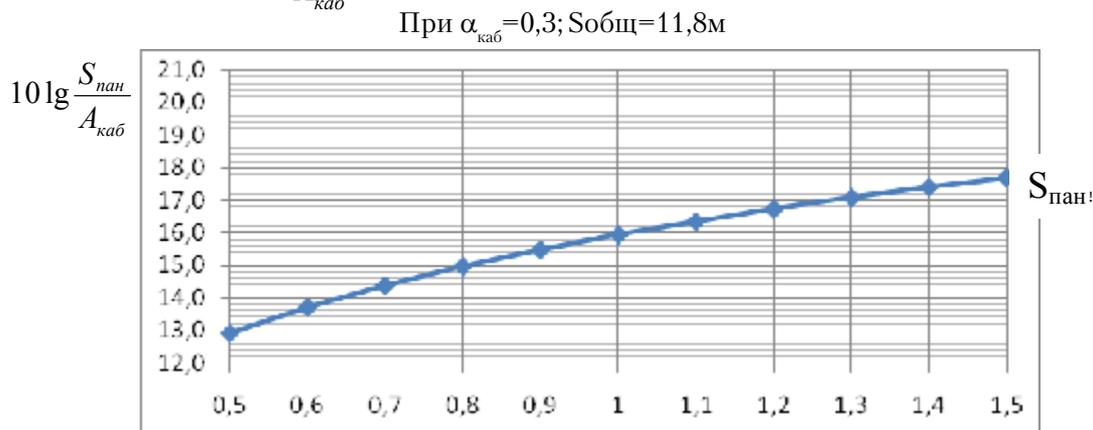


Рис. 7. Зависимость $10 \lg \frac{S_{пан}}{A_{каб}}$ при изменении коэффициента звукопоглощения ($S_{пан}$) в кабине

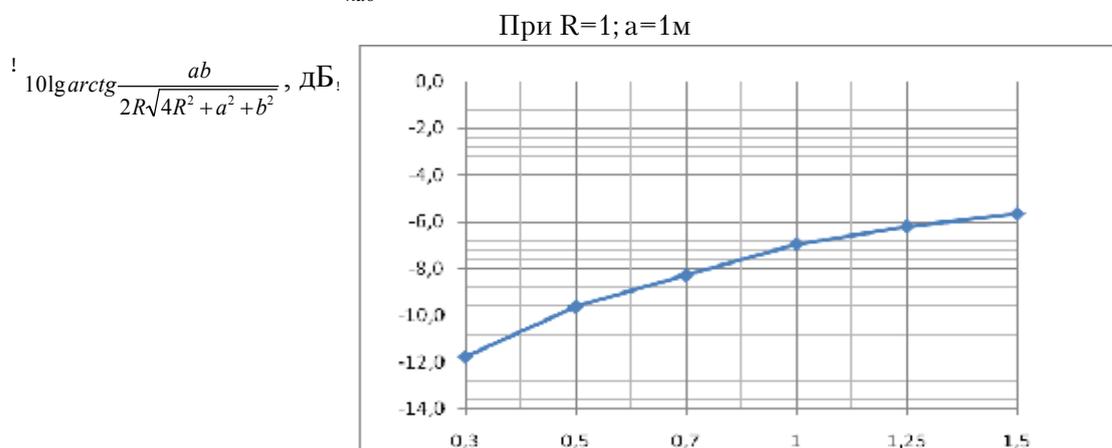


Рис. 8. Изменение $10 \lg \arctg \frac{ab}{2R\sqrt{4R^2+a^2+b^2}}$ при изменении линейного размера плоского излучателя

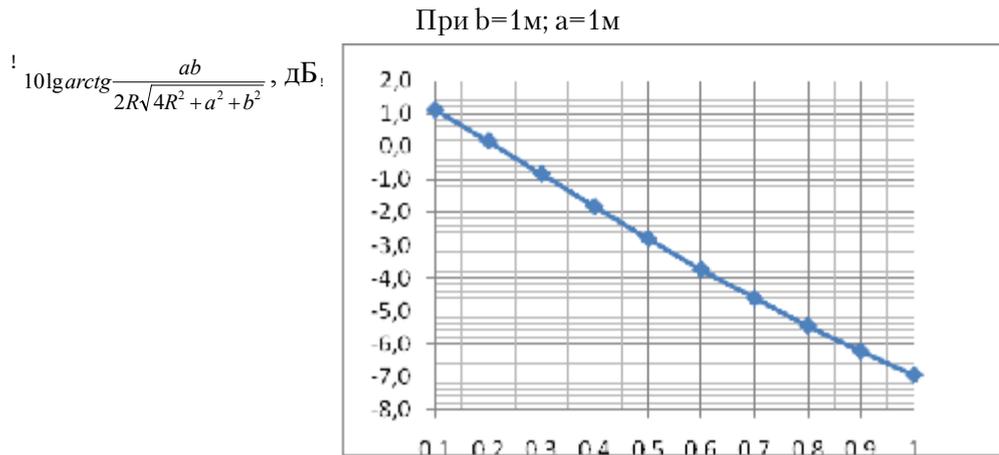


Рис. 9. Изменение $10 \lg \arctg \frac{ab}{2R\sqrt{4R^2+a^2+b^2}}$ при увеличении расстояния $R_{\text{ист}}$ плоского излучателя до расчётной точки.

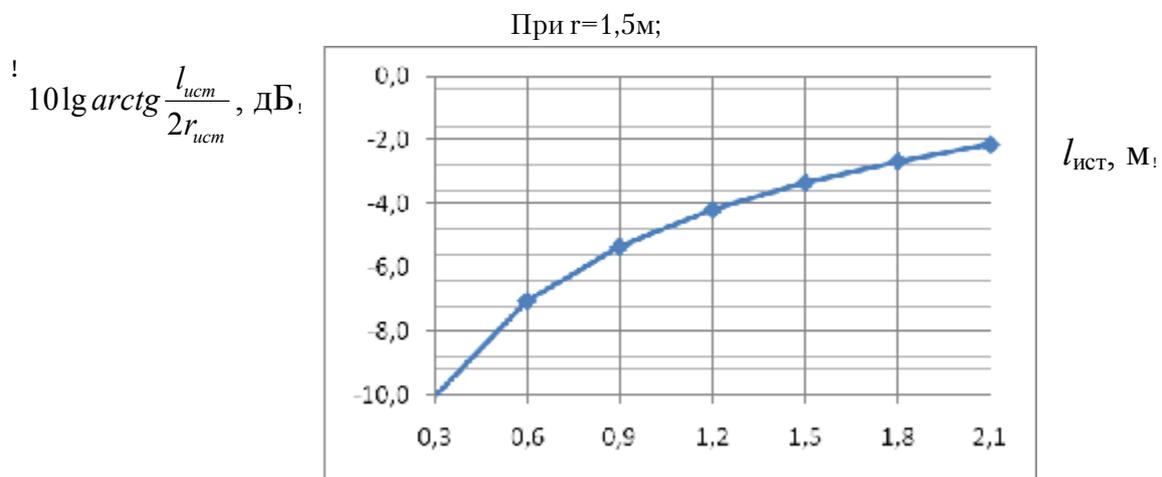


Рис. 10. Изменение $10 \lg \arctg \frac{l_{\text{ист}}}{2r_{\text{ист}}}$ при увеличении размеров линейного излучателя

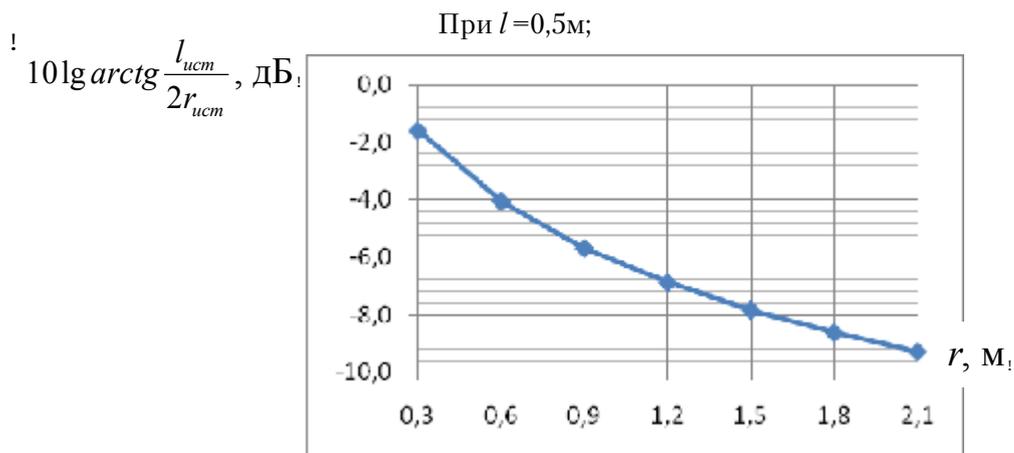


Рис. 11. Изменение $10 \lg \arctg \frac{l_{\text{ист}}}{2r_{\text{ист}}}$ при изменении расстояния r

шум в кабине. При увеличении $b_{\text{кап}}$ составляющая шума в кабине от ДВС падает; при увеличении $b_{\text{кап}}$ от 0,1 до 0,5 снижение составляет 8дБ. Изменение $r_{\text{ист}}$ характеризует вклад прямого звука под капотом. При увеличении $r_{\text{ист}}$ составляющая прямого звука снижается по экспоненте: при

увеличении $r_{\text{ист}}$ в 5 раз (с 0,1 до 0,5м) уменьшение вклада составило 10дБ.

ВЫВОДЫ

Основными допущениями для разрабатыва-

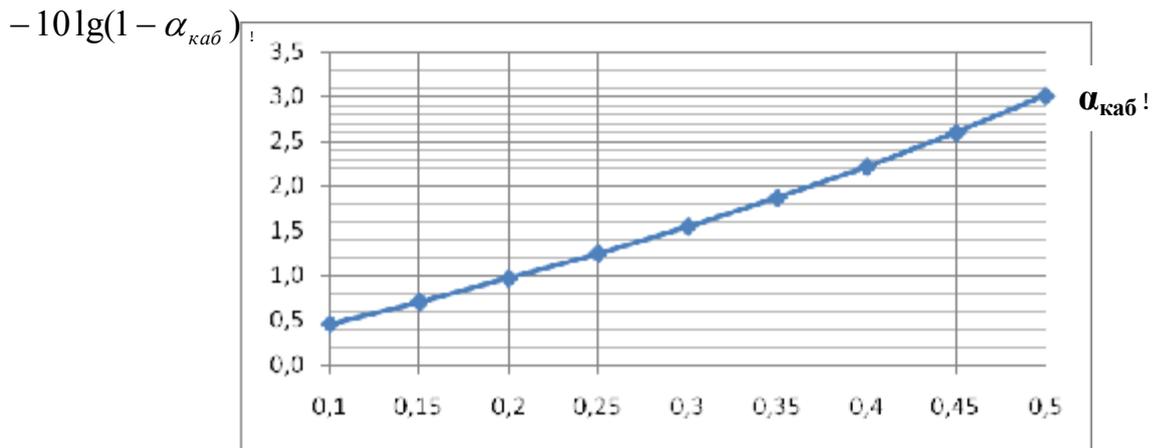


Рис. 12. Изменение шума в кабине при увеличении коэффициента звукопоглощения $\alpha_{\text{каб}}$
 При $\psi=1$; $S_{\text{каб}}=11,8$; $r=1$

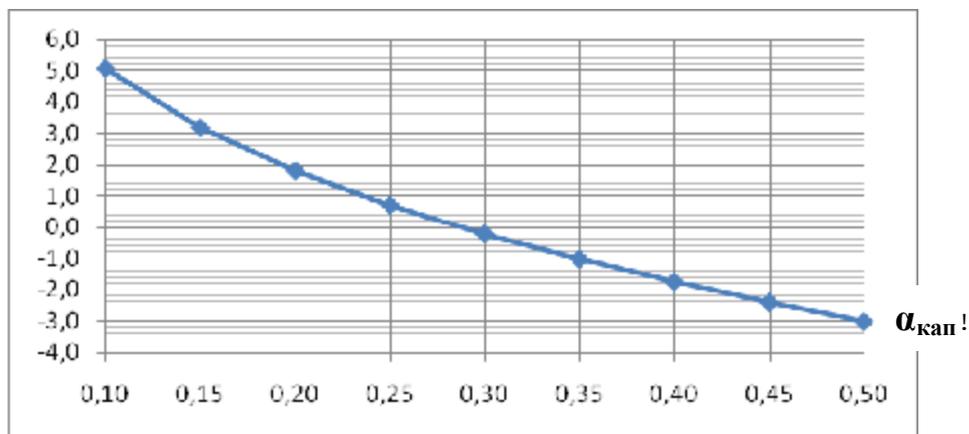


Рис. 13. Изменение $10\lg\left(\frac{1}{2\pi r_{\text{ист}}^2} + \frac{4(1 - \alpha_{\text{каб}})}{\psi_{\text{каб}} A_{\text{каб}}}\right)$ при изменении $\alpha_{\text{каб}}$
 При $\psi=1$; $S_{\text{каб}}=11,8$; $\alpha_{\text{каб}}=0,3$

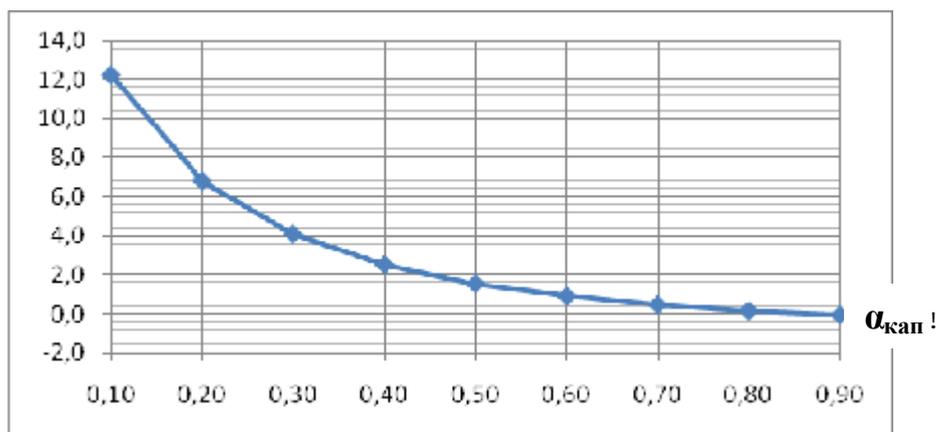


Рис. 14. Изменение $10\lg\left(\frac{1}{2\pi r_{\text{ист}}^2} + \frac{4(1 - \alpha_{\text{каб}})}{\psi_{\text{каб}} A_{\text{каб}}}\right)$ при изменении $r_{\text{ист}}$.

емых методов расчёта шума являются: звуковое поле диффузное, резонансные явления не учитываются, источники шума (линейные, точечные или плоские) некогерентны.

Разработано 5 основных расчётных схем опи-

сания воздушного шума:

- точечный источник, расположенный в пространстве, полупространстве или четвертьпространстве;
- плоский источник, расположенный в про-

странстве;

– мнимый точечный источник звука, расположенный в полупространстве;

– линейный источник звука, расположенный в пространстве;

– точечный источник расположенный вплотную к панели на её плоскости.

Разработаны формулы расчётов вклада источников в образование воздушного шума в кабинах с учётом: звуковой мощности источников шума (или УЗД), звукоизоляции ограждающих конструкций, звукопоглощения в кабинах, геометрических параметров в кабины, характера излучения звука источником, расположения источника в пространстве, акустических свойств примыкающих к кабине замкнутых объёмов и пр.

Выполненными теоретическими исследованиями установлено:

– увеличение коэффициента звукопоглоще-

ния в кабине в диапазоне его реально достигаемых значений максимальное снижение шума в кабине может составить 6 дБ;

– если шум в кабине генерируется плоским излучателем звука, то при увеличении его размеров в 2 раза шум возрастает на 3 дБ;

– если шум в кабине генерируется линейным излучателем звука, то при увеличении его длины в 3 раза, шум в кабине возрастает на 4 дБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шум в кабинах строительно-дорожных машин и тракторов / *Иванов Н.И., Курцев Г.М., Элькин Ю.И.* // БЖД 2005. № 10. С. 10-15.
2. *Иванов Н.И.* Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. М.: Университетская книга. Логос, 2008. 424 с.
3. Handbook of Noise and Vibration. *M.J. Crocker*, Wiley 2007, 1569 p.

CONSTRUCTION MACHINES CABIN NOISE PREDICTION

© 2010 A.E. Shashurin

Baltic State Technical University "VOENMECH" named after D.F. Ustinov, St.-Petersburg

Experimental investigations of construction machines cab noise generation are carried out. Structure-borne cab noise contribution is found out. Cab air-borne noise generation and noise sources separation are considered in the paper. It is approved that construction machine cab sound field is quasi-diffuse. A new method of cab noise prediction considering noise sources placement, sound absorption and sound isolation of machine elements, acoustical and geometrical characteristics of the cab is developed. Experimental and predicted results show good agreement. Developed method is recommended to be used at the design stage of construction machines.

Keywords: noise, road machine, cabin, calculation, reduction