

УДК: 534.836.2:534.832

OECD: 01.03. AA

Проблема выбора акустического центра автотранспортного потока

Васильев В.А.

Соискатель, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

Представлена общая информация, о проблеме автотранспортного шума. Рассмотрен вопрос существующих методик выбора акустического центра автотранспортного потока, дана их оценка. Выдвинуто предположение, о необходимости учета неоднородности автотранспортного потока по полосам. Предложено решение поставленной задачи с использованием аксиом и теорем статики, о переходе от распределённой нагрузки, в нашем случае звуковой энергии, к сосредоточенной силе, в нашем случае акустическому центру. В результате получена формула, позволяющая определить акустический центр автотранспортного потока. Проведены экспериментальные исследования, подтвердившие сходимость расчетной методики с экспериментом. Предложенная методика, применима, как к результатам натуральных измерений, так и в комбинации с существующими расчетными методиками.

Ключевые слова: шум, автотранспорт, шум автотранспортного потока, расчёт шума, звуковое поле, акустический центр.

The problem of choosing the acoustic center of the traffic flow

Vasilyev V.A.

Applicant, Baltic State Technical University «VOENMEH» them. D.F. Ustinova, St. Petersburg, Russia

Abstract

Provides general information about vehicle noise issues. A sharp question about the methods of choosing the acoustic center of the traffic flow, their assessment is given. An assumption has been made about the need to take into account the heterogeneity of the traffic flow along the lanes. A solution to the problem is provided using the axiom and obtaining statics, about the transition from a distributed load, in our case, sound energy, to a concentrated force, in our case, an acoustic center. As a result, a formula was obtained that makes it possible to determine the acoustic center of the traffic flow. Experimental studies have been carried out, which confirmed the convergence of the calculation method with experiment. The proposed methodology is applied both to the results of natural measurements and in connection with existing calculation methods.

Keywords: *noise, vehicles, highway traffic noise, noise calculation, sound field, acoustic center.*

Введение

Шум является широко распространенным фактором загрязнения окружающей среды, который отрицательно влияет на здоровье и благополучие как людей, так и животных. Хотя источниками акустического воздействия являются многие виды человеческой деятельности, наиболее распространенными источниками являются транспортные средства, включающие автомобильный, железнодорожный и авиационный транспорт.

В результате, шум, создаваемый транспортом (автомобильный, железнодорожный, авиационный), считается второй по значимости экологической проблемой для здоровья в Европе и стоит после загрязнения мелкодисперсными твердыми частицами [1].

Количество людей, подвергающихся воздействию шума, формируемого автотранспортным потоком, значительно превышает количество людей, подвергающихся воздействию шума от железнодорожных, авиационных и промышленных источников. Это связано с протяженностью автотранспортных сетей, которые больше, чем сети других источников шума [2].

1. Проблема выбора акустического центра автотранспортного потока

Согласно существующей нормативной документации, акустический центр автодороги, вне зависимости от количества проезжих частей, принимается на оси ближайшей к краю дороги полосе движения [3,4]. Данный вариант расположения акустического центра приемлем, но не всегда точен даже при расчете акустического воздействия без учета шумозащитного экрана. В случае расчета с учетом шумозащитного экрана, за акустический центр принимают ближайшую, дальнюю полосу движения или полосу, на усмотрение проектировщика. Данные варианты расположения акустического центра дают большое расхождение относительно реальной картины [6]. Стоит отметить, что корректный выбор акустического центра, для автотранспортного потока, влияет на результаты оценки акустической ситуации на прилегающей территории. К примеру, в случае свободного поля, выбор акустического центра повлияет на расстояние, учитываемое при оценке дивергенции от источника до приемника, что в свою очередь скажется на корректности полученных результатов оценки. Аналогично, в случае наличия препятствия между источником и приемником, расположение акустического центра будет влиять на угол дифракции, что в свою очередь повлияет на полученную оценку. Можно сделать вывод, что выбор акустического центра, исходя из характеристик автотранспортного потока, позволит увеличить точность и корректность расчетов, по оценке акустического воздействия.

2. Методика определения акустического центра автотранспортного потока

Предложено решение по уточнению акустического центра автотранспортного потока.

Принимаются следующие допущения:

- расчетную энергию от каждой из полос движения возможно оценить независимо друг от друга;
- распределение энергии над дорожным полотном принимается для каждой из полос, как условная прямоугольная фигура с высотой в виде уровня звука (или звукового давления) и шириной равной ширине полосы движения;
- акустический центр принимается, как точка сосредоточения силы;
- звуковая энергия распределена вдоль каждой полосы движения равномерно

для всего участка движения автотранспорта;

- высота источника шума автотранспортного потока неизменна.

Для определения акустического центра было решено использовать методику по определению точки сосредоточения силы, используемую в аксиомах и теоремах статики. Для этого необходимо рассмотреть способ перехода от распределённой нагрузки, в нашем случае звуковой энергии, к сосредоточенной силе, в нашем случае акустическому центру.

Плоская система распределённых сил характеризуется ее интенсивностью q , т. е. значением силы, приходящейся на единицу длины нагруженного отрезка.

Самый простой случай — это равномерное распределение нагрузки. В этом случае, центр сосредоточения сил расположится на середине отрезка приложения сил (Рисунок 1) [5].

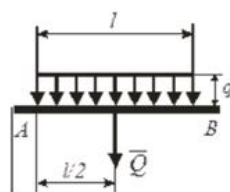


Рис. 1. Эпюра распределения сил простой случай

При данном типе расчета равномерно распределенную силу можно заменить равнодействующей Q . По модулю равную:

$$Q = lq$$

Следующий вариант распределения силы, вдоль отрезка по линейному закону. Для этих сил интенсивность q является величиной переменной, растущей от нуля до максимального значения q_{max} . Равнодействующая Q таких сил определяется аналогично равнодействующей сил тяжести, действующих на однородную треугольную пластину ABC [5]. Так как вес однородной пластины пропорционален ее площади, то по модулю:

$$Q = 0,5lq_{max}$$

Приложение силы Q осуществляется на расстоянии $1/3$ от стороны BC треугольника ABC .

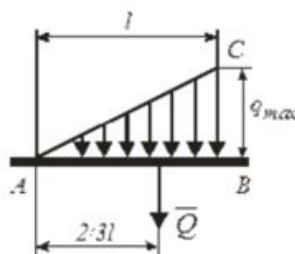


Рис. 2. Эпюра распределения сил вдоль отрезка по линейному закону

Для сил, распределенных вдоль отрезка по произвольному закону, центром сосредоточения сил будет являться центр массы (центр тяжести) этой фигуры [5] (Рисунок 3).

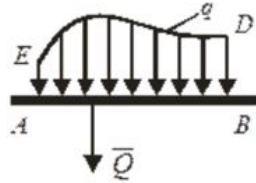


Рис. 3. Эпюра распределения сил произвольное распределение

В данном случае равнодействующая сила Q будет равняться сумме всех приложенных к пластине сил.

С учётом допущения, что энергия распределена вдоль каждой полосы движения равномерно для всего участка движения, для случая произвольного распределения энергии над дорожным полотном, в расчет принимается плоская ограниченная фигура с акустическим центром в центре тяжести фигуры произвольной формы.

Центр тяжести плоской ограниченной фигуры произвольной формы определяется с использованием двойного интеграла, который позволяет определить координаты центра тяжести фигуры, но так как нами принято допущение о неизменности высоты акустического центра автотранспортного потока, необходимо определить только координату центра тяжести по оси X , т.е. по горизонтали вдоль дорожного полотна.

Центр тяжести по оси X плоской однородной ограниченной фигуры определяется согласно следующим формулам:

$$x_0 = \frac{\iint_D x dx dy}{\iint_D dx dy}, \quad (1)$$

$$x_0 = \frac{\iint_D x dx dy}{S}, \quad (2)$$

где S – площадь области фигуры.

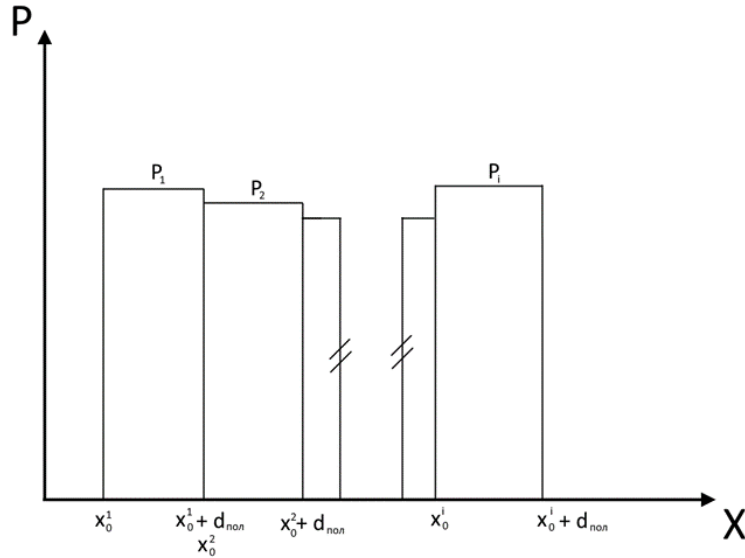


Рис. 4. Расчетная схема центра тяжести (акустического центра) над проезжей частью

где, X_0^i - расстояние от края дороги до начала полосы движения, м; $d_{пол}$ - ширина полосы движения, м; P_i - среднеквадратичное значение звукового давления от полосы движения, Па.

Выполним вывод формулы для определения акустического центра автотранспортного потока из ф. (1) и (2):

$$X_{АЦ} = \frac{\sum_{i=1}^n \int_0^{P_i} dy \int_{x_0^i}^{x_0^i + d_{пол}} x dx}{S}, \quad (3)$$

где n - число полос движения; P_i - среднеквадратичное значение звукового давления от полосы движения, Па; X_0^i - расстояние от края дороги до начала полосы движения, м; $d_{пол}$ - ширина полосы движения, м; S - площадь искомой фигуры.

Рассмотрим решение каждого из интегралов отдельно:

$$\int_{x_0^i}^{x_0^i + d_{пол}} x dx = \frac{(x_0^i + d_{пол})^2 - x_0^{i2}}{2}, \quad (4)$$

$$\int_0^{P_i} dy = P_i, \quad (5)$$

Площадь искомой фигуры будет равняться:

$$S = d_{пол} \sum_{i=1}^n P_i, \quad (6)$$

Подставив (4) - (6) в (3) получим следующее выражение:

$$X_{АЦ} = \frac{\sum_{i=1}^n ((P_i(x_0^i + d_{пол})^2 - x_0^{i2})/2)}{d_{пол} \sum_{i=1}^n P_i}, \quad (7)$$

где: $P_i = P_0 10^{\frac{L_i}{20}}$; L_i - уровень звука (уровень звукового давления) для i -ой полосы движения; $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$, Па - нулевой порог слышимости.

Для случаев, когда акустическая энергия распределена равномерно или по линейному закону, или по своему характеру близка к данным распределениям, для упрощения расчетов возможно использование в качестве акустического центра стандартных положений центров масс (Рисунок 1,2).

3. Экспериментальные исследования акустического поля над дорожным полотном

Для оценки распределения акустического поля над дорожным полотном необходимо производить измерение непосредственно над каждой из полос движения.

Измерения проводились на прямых участках движения автотранспорта со стабилизовавшейся скоростью потока, по каждой из полос движения, на удалении более 300 м от пересечений автодорог, развязок, съездов и остановочных пунктов. Участки поверхности дорожного полотна были чистыми и сухими.

Оценивался характерный для автотранспортного потока, как непостоянного источника шума, эквивалентный уровень звука, дБА.

Измерения проводились в период отсутствия атмосферных осадков, тумана и скорости ветра менее 5 м/с.

Во время проведения натурных измерений ось микрофона была сориентирована в сторону потока транспорта и расположена перпендикулярно полотну дороги.

В целях предотвращения отражения и экранирования звука оператором, расстояние от микрофона до оператора составляло не менее 0,5 м, при этом также предотвращалось нахождение любых объектов между источником шума и микрофоном.

При проведении измерений оценивалось фоновое влияние на шумовую характеристику соседних полос движения. При последующей обработке фоновые уровни исключались, для получения шумовой характеристики непосредственно измеряемой полосы.

Измерения проводились шумомерами 1-го класса точности, имеющими свидетельства о поверке. Калибровка средств измерения проводилась до и после каждой серии измерений.

В период измерений, параллельно с акустической характеристикой, фиксировались показатели, характеризующие поток, включающие интенсивность движения, состав потока, скоростной режим.

Для экспериментальных исследований были выбраны несколько участков городских и федеральных дорог общего пользования.

Городские дороги

Проспект Испытателей (г. Санкт-Петербург).

4 полосы движения на проезжую часть.



Рис. 5. Место проведения испытаний (пр. Испытателей, г. Санкт-Петербург)

Выборгская набережная (Кантемировский мост)
3 полосы движения на проезжую часть.



Рис. 6. Место проведения испытаний (Выборгская наб./ Кантемировский мост)

Федеральные дороги общего пользования
Участок кольцевой автодороги Санкт-Петербург (КАД) под Ленинградской ул.
3 полосы движения на проезжую часть.



Рис. 7. Место проведения испытаний (КАД. Ленинградская ул.)

4. Сравнение результатов экспериментальных исследований и расчетной методики

В ходе экспериментальных исследований и последующей обработки, были получены результаты, представленные в Таблице 1. По полученным результатам, согласно представленной в статье методике, в период проведения измерений и согласно результатам расчетов по существующим методикам определения шумовой характеристики, был определен акустический центр автотранспортного потока. В расчет принята методика из СП 276.1325800.2016, так как, согласно работе [7] наибольшую сходимость с экспериментальными исследованиями показали две методики: по формуле (7) из СП 276.1325800.2016 и по формуле, представленной в книге «Защита от шума в градостроительстве. Справочник проектировщика» Осипова Г.Л. [8], но даже эти методики дают завышенные уровни и расхождение с натурными измерениями

до 8-10 дБА. При дальнейшем расчете принято, что влияние различных изменяющихся параметров автотранспортного потока, на суммарную характеристику пропорционально сохраняется.

Таблица 1

Сравнение результатов экспериментальных исследований и расчетной методики

Объект исследования	Полоса движения	Лег-ой а.т., а/ч	Гру-ой а.т., а/ч	Ск., км/ч	Измеренные $L_{\text{экв}}$, дБА	$X_{\text{ац}}$, м.	Расчетные $L_{\text{экв}}$, дБА	$X_{\text{ац}}$, м.
Выборгская наб.	1	680	20	67	75	5,3	72	5,7
	2	640	60	72	74		74	
	3	660	40	70	75		73	
пр. Испытателей	1	440	0	58	73	6,9	70	7,1
	2	560	40	58	73		71	
	3	680	20	59	73		72	
	4	460	20	61	72		70	
КАД. Ленинградская ул.	1	6680	5660	81	80	6,5	88	6,3
	2	10860	5480	91	84		89	
	3	10220	100	99	79		85	
	4	3700	0	90	74		80	

Результаты сравнения показали, что при использовании предложенной в статье методики, незначительное расхождение в расположении акустического центра, не более 20 см, полученное по результатам натуральных измерений и по результатам использования существующих расчетных методик определения шумовой характеристики автотранспортного потока. При этом стоит отметить, что также подтвердилась возможность использования методики, предложенной в статье, как к результатам натуральных измерений, так и в комбинации с существующими расчетными методиками.

Заключение

В результате ряда преобразований, была получена формула для определения акустического центра автотранспортного потока, учитывающая распределение акустической энергии по каждой из полос движения, а также их ширину.

Расчетная методика, предложенная в статье, может быть внедрена в нормативную документацию по оценке воздействия автотранспортного шума, с целью решения проблемы выбора акустического центра автотранспортного потока, что подтверждается результатами сравнения экспериментальных исследований и расчетных методик.

Методика, предложенная в статье, применима, как к результатам натуральных измерений, так и в комбинации с существующими расчетными методиками.

В дальнейшем необходимо рассмотреть вопрос распределения автотранспорта по полосам движения, их состава и средней скорости движения, по каждой из них. Учёт реального распределения потока по полосам и использование предложенной формулы может позволить приблизить расчетные модели шума автотранспортного потока к реальной картине и дать лучшую оценку воздействия автотранспортного потока и эффективности проектируемых шумозащитных конструкций, располагаемых у автодорог.

Список литературы

1. Отто Ханнинен, Энн Барбара Кнол, Матти Янтунен, Тек-Анг Лим Экологическое бремя болезней в Европе: оценка девяти факторов риска в шести странах // Перспективы гигиены окружающей среды. - 2014. - №Том. 122, № 5. - С. 439-446.
2. Европейское агентство по окружающей среде. Отчет. Шум окружающей среды в Европе - 2020. - Копенгаген К. Дания: Европейское агентство по окружающей среде, 2020. - 104 с.
3. СП 276.1325800.2016. Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков. – Введ. 2017-04-06. - Официальный сайт Минстроя РФ <http://www.minstroyrf.ru/> (по состоянию на 21.03.2017);
4. ОДМ 218.2.013-2011 Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам. – Введ. 2012-12-26, 2012;
5. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. - 20-е изд. - Москва: «Высшая школа», 2010. – 416 с.
6. Васильев В.А. Звуковое поле над проезжей частью, формируемое движением автотранспорта // Noise Theory and Practice. – 2021. – Том 7 №5. – с. 25-32.
7. Васильев В.А. Сравнение шумовых характеристик автотранспортных потоков, полученных расчётным путем и в результате натурных измерений / В.А. Васильев // Сборник трудов Третьей Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. Акустика среды обитания. – 2018. – с. 54 -59.
8. Осипов Г.Л. Защита от шума в градостроительстве. Справочник проектировщика / Г.Л. Осипов, В.Е. Коробков, А.А. Климухин и др.– М.: Стройиздат, 1993

References

1. Otto Hänninen, Anne Barbara Knol, Matti Jantunen, Tek-Ang Lim Environmental Burden of Disease in Europe: Assessing Nine Risk Factors in Six Countries // Environmental Health Perspectives. - 2014. - №Vol. 122, No. 5. - С. 439-446. DOI: 10.1289/ehp.1206154
2. Report «European Environment Agency Environmental noise in Europe» — 2020. - Copenhagen K Denmark: European Environment Agency, 2020. - 104 с. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/environmental-noise-in-europe>
3. SP 276.1325800.2016. Buildings and territories. Rules for the design of traffic noise protection. - Input. 2017-04-06. - Official website of the Ministry of Construction of the Russian Federation <http://www.minstroyrf.ru/> (as of March 21, 2017);
4. ODM 218.2.013-2011 Guidelines for the protection against traffic noise of areas adjacent to highways. - Input. 2012-12-26, 2012;
5. Targ S.M. A short course in theoretical mechanics. - 20th ed. - Moscow: "Higher School", 2010. - 416 p.
6. Vasilyev V.A. The sound field above the highway formed by the movement of vehicles // Noise Theory and Practice. - 2021. - Volume 7 No. 5. - 25-32 p.
7. Vasilyev V.A. Comparison of noise characteristics of motor traffic flows, income by calculation and as a result of natural measurements / V.A. Vasiliev // Proceedings of the Third All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists. Acoustics of the environment. – 2018. – p. 54 -59.
8. Osipov G.L. Noise protection in urban planning. Designer's Handbook / G.L. Osipov, V.E. Korobkov, A.A. Klimukhin and others - M.: Stroyizdat, 1993.