

ЗАВИСИМОСТЬ ЭКВИВАЛЕНТНОГО УРОВНЯ ЗВУКА ОТ ШУМОВЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

Ю. И. Захаров, к.т.н., проф., Е. С. Карнаух, асп.

Ключевые слова: транспортный поток, методика определения шумовой характеристики, эквивалентный уровень звука, регрессионный анализ

Постановка проблемы. В ходе научных исследований эквивалентного уровня звука был проведен ряд теоретических и натурных измерений. Теоретическая часть работы была выполнена с использованием базовой формулы для расчёта уровня звука. Объектом статистических наблюдений выступал движущийся транспортный поток. Транспортные средства в потоке условно рассматривались как точечные объекты, обладающие рядом специфических характеристик. Фиксировалась скорость транспортных средств, их количественный и качественный состав, время суток, характеристики дорожного покрытия, а также геометрические условия дороги, такие как ширина проезжей части и количество полос движения. Учитывая все известные параметры, получаем многомерную выборку данных. Для того чтобы сделать необходимые выводы о характере взаимного влияния полученных признаков, целесообразно изучить их корреляционную зависимость, т. е. статистическую взаимосвязь нескольких случайных величин либо величин, которые можно с некоторой допустимой степенью точности считать таковыми. Вопрос этот подлежит решению путём применения методов математической статистики, в частности, – регрессионного анализа данных.

Анализ литературы. Для изучения взаимосвязи измеренные признаки разделяются на два класса: факторные и результативные [1]. Факторный признак или независимая переменная вызывает изменение других связанных с ней признаков. Результативный признак или зависимая переменная изменяется под действием факторных признаков.

В данной работе факторными признаками выступают скорость транспортных средств, интенсивность движения, ширина и коэффициент уклона дорожного полотна, количество полос движения. Под результативным признаком будем понимать измеренный уровень звукового давления.

Смысл обработки многомерных выборок заключается в установлении связи между признаками [2]. Связь может быть функциональной, при которой определенному значению факторного признака соответствует одно и только одно значение результативного признака. Если зависимость проявляется не в каждом отдельном случае, а в среднем при большом числе наблюдений, то она называется статистической (стохастической) [3]. Частным случаем статистической связи является корреляционная связь, при которой изменение среднего значения результативного признака вызвано изменением факторных признаков [4].

С целью определения степени детерминированности зависимой переменной от независимых, предсказания значений зависимой переменной при известных независимых, а также для определения вклада отдельных независимых переменных в вариацию зависимой, необходимо обратиться к регрессионному анализу данных. Регрессионный анализ – статистический метод исследования влияния одной или нескольких независимых переменных X_1, X_2, X_3 на независимую Y [5]. Независимые переменные иначе называют регрессорами или предикторами, а зависимые переменные – критериальными. Терминология зависимых и независимых переменных отражает лишь математическую зависимость переменных, а не причинно-следственные отношения. Регрессионный анализ – это аппроксимация зависимости, представленной в виде набора чисел, аналитической функцией. Численные значения получаются обычно либо в результате экспериментальных измерений, либо с помощью компьютерного моделирования. Уравнение регрессии используется для прогноза поведения результативного признака под влиянием факторных, поэтому для его получения необходимо иметь достоверную информацию. С этой целью требуется выполнить анализ исходных данных и исключить из многомерной выборки строчки, содержащие сомнительную информацию, или провести дополнительное уточнение информации.

Цель статьи. Путём применения методов математической статистики определить характер влияния шумовых характеристик транспортного потока на результирующую величину эквивалентного уровня звука.

Изложение материала. Первым шагом является контроль данных на наличие грубых выбросов. Контроль включает логическую проверку данных, т. е. смысловую согласованность сведений, исключение «нелогичных» данных и арифметическую согласованность. Также необходимо нахождение доверительного интервала для имеющейся совокупности данных с целью определения величины математического ожидания для исследуемой совокупности данных. Доверительный интервал – термин, используемый в математической статистике при интервальной (в отличие от точечной) оценке статистических параметров. Доверительным называют интервал, который покрывает неизвестный параметр с заданной надёжностью. Метод доверительных интервалов разработал американский статистик Ежи Нейман, исходя из идей английского статистика Рональда Фишера [6].

Доверительным интервалом параметра θ распределения случайной величины X с уровнем доверия $100\% - P$, порождённым выборкой (x_1, \dots, x_n) , называется интервал с границами $l(x_1, \dots, x_n)$ и $u(x_1, \dots, x_n)$, которые являются реализациями случайных величин $L(X_1, \dots, X_n)$ и $U(X_1, \dots, X_n)$, таких, что

$$P(L \leq \theta \leq U) \quad (1)$$

Граничные точки доверительного интервала L и U называются доверительными пределами [7].

Интерпретация доверительного интервала, основанная на интуиции, будет следующей: если P велико (0,95 – 0,99), то доверительный интервал почти наверняка содержит истинное значение θ .

Также доверительный интервал можно рассматривать как интервал значений параметра θ , совместимых с опытными данными и не противоречащих им.

Для максимального упрощения расчетов при контроле данных на наличие грубых ошибок в данной работе обработка результатов производилась в надстройке электронной таблицы «Excel», входящей в комплект программ «Microsoft Office».

Следующим шагом является проверка полученных данных на нормальность. Все основные положения теории корреляции и регрессии разработаны с учетом предположения о нормальном законе распределения исследуемых признаков. Поэтому после проверки исходной информации на наличие ошибок выполняется анализ исследуемых признаков на подчинение их нормальному закону распределения.

Нормальное распределение, также называемое распределением Гаусса, – распределение вероятностей, которое играет важнейшую роль во многих областях знаний, особенно при описании различного рода физических процессов. Физическая величина подчиняется нормальному распределению, когда она подвержена влиянию огромного числа случайных помех. Ясно, что такая ситуация крайне распространена, поэтому можно сказать, что из всех распределений в природе чаще всего встречается именно нормальное распределение – отсюда и произошло одно из его названий.

Нормальное распределение зависит от двух параметров – смещения и масштаба, т. е. является, с математической точки зрения, не одним распределением, а целым их семейством. Значения параметров соответствуют значениям среднего (математического ожидания) и разброса (стандартного отклонения).

Стандартным нормальным распределением называется нормальное распределение с математическим ожиданием 0 и стандартным отклонением 1. Поскольку нормальное распределение часто встречается на практике, то для него разработаны специальные статистические критерии: критерий Пирсона, критерий Колмогорова – Смирнова и др.

Для оценки соответствия имеющихся экспериментальных данных нормальному закону распределения целесообразно совместное использование графических и статистических методов.

Графический метод позволяет выдвигать гипотезу о виде распределения, давать визуальную ориентировочную оценку расхождения или совпадения распределений.

При проверке простых гипотез и использовании асимптотически оптимального группирования критерий согласия χ^2 Пирсона имеет преимущество в мощности по сравнению с непараметрическими критериями согласия. При проверке сложных гипотез мощность непараметрических критериев возрастает, и такого преимущества нет [8; 9]. Однако для любой пары конкурирующих гипотез (конкурирующих законов) за счет выбора числа интервалов и способа разбиения области определения случайной величины на интервалы можно максимизировать мощность критерия [10].

В Excel критерий хи-квадрат реализован в функции ХИ2ТЕСТ (*фактический_интервал*;

ожидаемый интервал), аргументами которой являются диапазон экспериментальных частот и диапазон теоретических частот для соответствующих интервалов. Функция ХИ2ТЕСТ вычисляет вероятность совпадения наблюдаемых (фактических) значений и теоретических (гипотетических) значений. Если вычисленная вероятность ниже уровня значимости (0,05), то нулевая гипотеза отвергается и утверждается, что наблюдаемые значения не соответствуют нормальному закону распределения. Если вычисленная вероятность близка к 1, то можно говорить о высокой степени соответствия экспериментальных данных нормальному закону распределения.

Основой для выдвижения гипотезы о том, что случайная величина подчиняется нормальному закону распределения, могут быть внешний вид гистограммы и значения числовых характеристик. Если близки по значению оценки выборочного среднего, моды и медианы, а оценки асимметричности и эксцесса незначительно отличаются от нуля, то случайная величина подчиняется нормальному закону распределения. В данной работе вышеуказанные требования выполняются, следовательно, исследуемые признаки подчиняются нормальному закону распределения. Соответственно, применение регрессионного анализа целесообразно.

После доказательства подчинения исследуемых данных (табл.1) нормальному закону распределения можно строить их регрессионные модели.

Линейной регрессией называют используемую в статистике регрессионную модель зависимости одной переменной Y от другой или нескольких других переменных X с линейной функцией зависимости.

Модель линейной регрессии является часто используемой и наиболее изученной в эконометрике. А именно, изучены свойства оценок параметров, получаемых различными методами при предположениях о вероятностных характеристиках факторов, и случайных ошибок модели. Предельные (асимптотические) свойства оценок нелинейных моделей также выводятся исходя из аппроксимации последних линейными моделями. Необходимо отметить, что с эконометрической точки зрения большое значение имеет линейность по параметрам, чем линейность по факторам модели.

Т а б л и ц а 1

Описательная статистика для данных

Обозначение	Единицы измерения	Среднее	Стандартное отклонение	Минимум	Максимум	Медиана
X_1	ед/ч	1 754,38	1 544,43	252	6 780	1 140
X_2	Км/ч	63,50	12,51	29,01	91,39	61,75
Y	дБА	70,10	2,99	64,50	75,60	69,70
X_3	м	18,03	10,44	3,50	38,00	13,00
X_4	шт	3,99	2,43	1,00	8,00	3,00
X_5	дБА	0,72	1,51	0,00	5,00	0,00

В таблице Y – измеренный уровень звука, дБА; X_1 – интенсивность потока автомобилей, эквив./ч; X_2 – средняя скорость потока, км/ч; X_3 – ширина проезжей части, м; X_4 – количество полос движения, шт; X_5 – коэффициент уклона дорожного полотна, дБА.

Используя методы, приведенные выше, доказали, что исследуемые данные подчиняются нормальному закону распределения. На основе этих данных можно построить регрессионные модели. Для этого воспользуемся компьютерным инструментом для выполнения обработки статистических данных R [11]. Эта компьютерная среда широко используется как статистическое программное обеспечение для анализа данных и фактически стала стандартом для статистических программ.

Для простоты вычислений также будем использовать вспомогательную величину $Q = 10 \times \lg(N/V)$, выступающую одним из параметров в исходной расчётной формуле, и Y_c – расчётный уровень звука, дБА.

Вывод. С целью определения степени влияния каждого из факторных признаков на результирующий были выявлены коэффициенты корреляции для всех пар переменных (табл. 2).

Используя приведенные в таблице данные, можно сделать следующие выводы. Разница в корреляции величин с измеренным и расчетным уровнями показывает, что, как и предполагалось, изменились шумовые характеристики потока автомобилей с момента принятия в расчётах старой формулы.

Т а б л и ц а 2

Корреляционные зависимости величин

	X_1	X_2	Y_c	Y	X_3	X_4	X_5	Q
X_1	1	0,4	0,78	0,79	0,75	0,81	-0,19	0,89
X_2	0,4	1	0,67	0,30	0,22	0,33	-0,30	0,15
Y_c	0,78	0,67	1	0,74	0,65	0,07	0,07	0,71
Y	0,79	0,3	0,74	1	0,83	0,84	-0,10	0,79
X_3	0,75	0,22	0,65	0,83	1	0,96	-0,12	0,80
X_4	0,81	0,33	0,67	0,84	0,96	1	-0,27	0,78
X_5	-0,19	-0,30	0,07	-0,10	-0,12	-0,27	1	-0,06
Q	0,89	0,15	0,71	0,79	0,80	0,78	-0,06	1

Прежде всего, стоит отметить значительное уменьшение влияния скорости движения на результирующую величину (с 0,67 до 0,30). Тем не менее, 0,3 – достаточно высокое значение и скорость остается довольно весомым фактором. Значение корреляции 0,74 между измеренным и расчетным уровнем звука показывает, что старая формула дает приближённую оценку уровня шума и требует уточнения.

Влияние ширины дороги на результирующий фактор довольно велико (0,83 – 0,84), следовательно, включение этой характеристики в качестве одного из параметров новой разрабатываемой модели имеет смысл.

Наблюдается значительная корреляция между параметрами, характеризующими ширину дороги и рядность движения. Соответственно, нет смысла включать оба эти параметра. Очевидно, что количество полос линейно связано с шириной дороги, поэтому в результирующей модели достаточно использовать только один из двух параметров. Мы будем далее в качестве ширины дороги использовать количество полос, поскольку эта величина легче поддается измерению.

В ходе исследования было выявлено, что на результирующий уровень звука наибольшее влияние имеют скорость и интенсивность потока, менее значимыми являются величина уклона и характер покрытия дорожного полотна, а также рядность движения. Учёт всех вышеперечисленных параметров сделает возможным определение реального значения эквивалентного уровня звука от современного транспортного потока на дорогах города.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Фёрстер Э.** Методы корреляционного и регрессионного анализа / Э. Фёрстер, Б. Рёнц – М. : Финансы и статистика, 1981. – 302 с.
2. **Лбов Г. С.** Методы обработки разнотипных экспериментальных данных / Г. С. Лбов. – Новосибирск: Наука, 1981. – 158 с.
3. **Миркин Б. Г.** Анализ качественных признаков / Б. Г. Миркин – М. : Статистика, 1976. – 279 с.
4. **Дидэ Э.** Методы анализа данных / Э. Дидэ, С. А. Айвазян, В. М. Бухштабера. – М. : Финансы и статистика, 1985. – 357с.
5. **Дрейпер Н.** Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М. : Диалектика, 2007. – 912 с.
6. **Гмурман В. Е.** Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособ. для вузов / В. Е. Гмурман. – 9-е изд. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.
7. Справочник по прикладной статистике. В 2 т. Т. 1: Пер. с англ. / Под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю. Н. Тюрина. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 510 с.
8. **Лемешко Б. Ю.** Сравнительный анализ мощностей критериев согласия при близких

конкурирующих гипотезах. I. Проверка простых гипотез / Б. Ю. Лемешко, С. Б. Лемешко, С. Н. Постовалов / Сибирский журнал индустриальной математики. – 2008. – Т. 11. – № 2(34). – 479 с.

9. **Лемешко Б. Ю.** Сравнительный анализ мощности критериев согласия при близких альтернативах. II. Проверка сложных гипотез / Б. Ю. Лемешко, С. Б. Лемешко, С. Н. Постовалов / Сибирский журнал индустриальной математики. – 2008. – Т. 11. – № 4(36). – С. 78 – 93.

10. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход : моногр. / Б. Ю. Лемешко, С. Б. Лемешко, С. Н. Постовалов, Е. В. Чимитова. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. – 888 с.

11. **Ross Ihaka.** A Brief History R: Past and Future History / Ross Ihaka // Statistics Department, The University of Auckland. – New Zealand: Auckland, 2012.

SUMMARY

Problem statement. During the scientific investigation on the equivalent loudness level some theoretical and practical experiments were carried out. The object of research was traffic flow. Noise characteristics such as speed, quantitative and qualitative flow composition, time of the day, road surface and geometrical characteristics such as width of carriageway and the number of traffic lanes. Taking into account all the parameters we get the multivariate sample. In order to make a conclusion about the degree of interaction between all the parameters, it is necessary to study their correlation. This task can be achieved by using mathematical statistical methods, in particular by the regression analysis.

Analyzing of the resent research. Attempts to produce a mathematical theory of traffic flow date back to the 1920s, when Frank Knight first produced an analysis of traffic equilibrium, which was refined into Wardrop's first and second principles of equilibrium in 1952.

A lot of scientists all over the world such as R. Kartabaev, V. Syl'yanov, F. Kheyta, D. Dryu et al. were working on the problem of the equivalent loudness level calculation. However, their research was being conducted long ago. In the modern world the new model for the traffic noise calculation is required.

To study an interaction all parameters are divided into two categories: factorial and resultant. The factorial one causes the change of the other relevant parameters. Resultant is changed under the action of the factorial parameters.

In current research factorial parameters are speed, flow intensity, width of carriageway, road inclination coefficient and the number of traffic lanes. As a resultant parameter we take the measured equivalent loudness level.

Research objective. The aim of the article is to detect the range of traffic flow noise characteristics influence on the resultant equivalent loudness level.

Conclusions. The specification of experimentally obtained data is given, that is made by using mathematical statistical methods including regression analysis. The order of preliminary operations is described: outlier finding and normalization check. Then the results of mathematical investigation are shown. At the end there is a conclusion about the main noise traffic flow characteristics having the major influence upon the equivalent loudness level.

During the investigation was detected that the most influencing factors on the equivalent loudness level are traffic speed and intensity. Less influencing, but also important parameters are road surface and geometrical characteristics such as width of carriageway and the number of traffic lanes. In order to calculate equivalent loudness levels exactly we have to take all these parameters into account.

REFERENCES

1. Fjorster Je. Metody korreljacionnogo i regressionnogo analiza / Je. Fjorster, B. Rjonc – M. : Finansy i statistika, 1981. – 302 s.
2. Lbov G. S. Metody obrabotki raznotipnyh jeksperimental'nyh dannyh / G. S. Lbov. – Novosibirsk: Nauka, 1981. – 158 s.
3. Mirkin B. G. Analiz kachestvennyh priznakov / B. G. Mirkin – M. : Statistika, 1976. – 279 s.
4. Didje Je. Metody analiza dannyh / Je. Didje, S. A. Ajvazjan, V. M. Buhshtabera. – M. : Finansy i statistika, 1985. – 357s.

5. Drejper N. Prikladnoj regressionnyj analiz. Mnozhestvennaja regressija / N. Drejper, G. Smit. – M. : Dialektika, 2007. – 912 s.
6. Gmurman V. E. Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika: ucheb. posob. dlja vuzov / V. E. Gmurman. – 9-e izd. – M.: Vysshaja shkola, 2003. – 479 s.
7. Spravochnik po prikladnoj statistike. V 2 t. T. 1: Per. s angl. / Pod red. Je. Llojda, U. Ledermana, Ju. N. Tjurina. – M. : Finansy i statistika, 1989. – 510 s.
8. Lemesko B. Ju. Sravnitel'nyj analiz moshhnosti kriteriev soglasija pri blizkih konkurirujushhijh gipotezah. I. Proverka prostyh gipotez / B. Ju. Lemesko, S. B. Lemesko, S. N. Postovalov / Sibirskij zhurnal industrial'noj matematiki. – 2008. – T. 11. – № 2(34). – 479 s.
9. Lemesko B. Ju. Sravnitel'nyj analiz moshhnosti kriteriev soglasija pri blizkih al'ternativah. II. Proverka slozhnyh gipotez / B. Ju. Lemesko, S. B. Lemesko, S. N. Postovalov / Sibirskij zhurnal industrial'noj matematiki. – 2008. – T. 11. – № 4(36). – S. 78 – 93.
10. Statisticheskij analiz dannyh, modelirovanie i issledovanie verojatnostnyh zakonomernostej. Komp'juternyj podhod : monogr. / B. Ju. Lemesko, S. B. Lemesko, S. N. Postovalov, E. V. Chimitova. – Novosibirsk : Izd-vo NGTU, 2011. – 888 s.
11. Ross Ihaka. A Brief History R: Past and Future History / Ross Ihaka. // Statistics Department, The University of Auckland. – New Zealand: Auckland, 2012.

УДК 65.012.8.628

Зависимость эквивалентного уровня звука от шумовых характеристик транспортного потока / Ю. И. Захаров, Е. С. Карнаух // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПГАСА, 2014. – № 4. – С. 24 – 29. – Библиогр.: (12 назв.).

Дано описание обработки экспериментально полученных данных методами математической статистики с применением элементов регрессионного анализа. Указан также порядок предварительных операций: исследование данных на выбросы и проверка их на нормальность. Далее представлены результаты математического исследования. Сделан вывод об основных шумовых характеристиках движущегося автомобильного потока, имеющих наибольшее влияние на эквивалентный уровень звука.

Ключевые слова: транспортный поток, методика определения шумовой характеристики, эквивалентный уровень звука, регрессионный анализ.

Залежність еквівалентного рівня звуку від шумових характеристик транспортного потоку / Ю. І. Захаров, Е. С. Карнаух // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПДАБА, 2014. – № 4. – С. 24 – 29. – Бібліогр.: (12 назв.).

Надано опис обробки експериментально отриманих даних методами математичної статистики із застосуванням елементів регресійного аналізу. Зазначено також порядок попередніх операцій: дослідження даних на викиди та перевірка їх на нормальність. Далі подані результати математичного дослідження. Зроблено висновок про основні шумові характеристики автомобільного потоку, що мають найбільший вплив на еквівалентний рівень звуку.

Ключові слова: транспортний потік, методика виявлення шумової характеристики, еквівалентний рівень звуку, регресійний аналіз.

Relation of equivalent loudness level from traffic flow noise characteristics / U. Zakharov, E. Karnaukh // Visnyk of Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. – D. : PSACEA, 2014. – № 4. – P. 24 – 29.– Bibliogr.: (12 names).

The specification of experimentally obtained data is given, that is made by using mathematical statistical methods including regression analysis. The order of preliminary operations is described: outlier finding and normalization check. Then the results of mathematical investigation are shown. At the end there is a conclusion about the main noise traffic flow characteristics having the major influence upon the equivalent loudness level.

Keywords: traffic flow, method of noise characteristics detecting, equivalent loudness level, regression analysis.