

О ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ СПЕКТРАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ШУМА АВТОМОБИЛЕЙ

Красовский В.О.¹, Мухаметдинова З.М.², Галиуллин А.Р.¹, Вагапова Л.Ф.²,
Халфин Р.Р.²

¹ ФБУН "Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека", Уфа, e-mail: vokras@gmail.com;

² ФГБОУ ВО "Уфимский государственный авиационный технический Университет", Уфа, e-mail: zuhra.muhametdinova@mail.ru

Публикация содержит анализ результатов измерений шума в 71 кабине автомашин от 1991 г. до 2013 г. выпуска. Полученный материал актуализирует почти забытую проблему гигиенического нормирования спектрального содержания шума. Только действующие санитарные правила содержат нормативные величины интенсивности звука (дБ) в октавных полосах среднегеометрических частот (Гц). Технические стандарты нормируют шум в автотранспорте в децибелах, скорректированных по шкале А (дБА) и определяют порядок акустических испытаний для измерений именно на этой шкале шумоизмерительного прибора. При соблюдении нормативов эквивалентных уровней шума в кабинах, нарушения регламентируемых значений его спектра формируют у водителей адекватные физиологические изменения с развитием преждевременного утомления, что может быть причиной дорожно-транспортных происшествий. В анализе спектров шумов моторов обнаружили сходство и различие их содержания, зависящее от используемого типа двигателя и топлива. Специфика различий спектров может быть использована в диагностике технического состояния двигателя, а также в дальнейшем совершенствовании гигиенического и технического нормирования внутренних шумов в кабинах и салонах машин, что в целом повысит уровень транспортной безопасности и оптимизирует гигиеническую оценку и условия труда водителей.

Ключевые слова: гигиена, профессиональные вредности, вредные физические факторы, производственный шум и вибрация.

ABOUT THE HYGIENEDIAGNOSTIC IMPORTANCE SPECTRAL MAINTENANCES OF NOISE OF CARS

Krasovskij V.O.¹, Muhametdinova Z.M.², Galiullin A.R.¹, Vagapova L.F.²,
Khalfin R.R.²

¹ Federal budgetary establishment of a science "The Ufa scientific research institute of medicine of work and ecology of the person", Ufa, e-mail: vokras@gmail.com;

² Federal state budgetary educational establishment of Higher education "Ufa state aviation technical University", Ufa, e-mail: zuhra.muhametdinova@mail.ru

The publication contains the analysis of results of measurements of noise in 71 cabins of motor vehicles from 1991 up to 2013 of release. The received material staticizes almost forgotten problem of hygienic normalization of the spectral maintenance of noise. Only operating sanitary rules contain normative sizes of intensity of a sound (дБ) in octave strips of compound frequencies (Hz). Technical standards normalize noise in motor transport in the decibels corrected on a scale (дБА) and define the order of acoustic tests for measurements on this scale шумоизмерительного the device. At observance of specifications of equivalent noise levels in cabins, infringements of regulated values of its spectrum form at drivers adequate physiological changes with development of premature exhaustion that can cause road and transport incidents. In the analysis of spectra of noise of motors have found out similarity and the distinction of their maintenance depending on used type of the engine and fuel. Specificity of distinctions of spectra can be used in diagnostics of a technical condition of the engine, and also in the further perfection of hygienic and technical normalization of internal noise in cabins and interiors of machines, that as a whole will raise a level of transport safety and optimizes a hygienic estimation and working conditions of drivers.

Keywords: hygiene, professional the harm, harmful physical factors, industrial noise and vibration.

Понятие акустического комфорта системы «человек – машина» в субъективной оценке предполагает, что при эксплуатации и управлении «машиной» оператор должен испытывать минимальное психоэмоциональное раздражение и утомление. Труд водителя

следует однозначно относить по нервно-эмоциональной напряжённости к вредному классу (в зависимости от интенсивности транспортного потока, в первую очередь) первой-третьей степени согласно действующему документу Руководству Р.2.2.2006-05 [2].

Санитарные правила СП 4641-88 [11] регламентируют энергетический эквивалент непостоянного звука на уровне 60 дБА (для легковых автомобилей) и 70 дБА (для грузовых машин) с возможностью оценки по «предельному спектру» (ПС-55 и ПС-65, соответственно). ГОСТ Р.51616-2000 [4] уточняет эти требования согласно действующей классификации механических транспортных средств и прицепов [5], нормирует шумы в децибелах, скорректированных по шкале А (дБА), и определяет порядок акустических испытаний, но только для измерения на этой шкале. Поэтому шум в кабинах и салонах автомобилей в настоящее время, в целом по уровням звука в дБА (более всего в легковых автомобилях) отвечает требованиям, что является несомненной заслугой конструкторов.

ГОСТ Р.51616-2000 [4] в отличие от действующих Санитарных правил СП 4641-88 [11] исключает оценку спектрального содержания внутреннего шума, влияющего на водителя и пассажиров. Из-за этого повсеместно нарушаются нормативы спектра шума, установленные санитарными правилами [11], нет нормативных документов, регламентирующих порядок замеров спектра шума. Считаем, что вопрос оценки соблюдения спектральных норм шума и дальнейшего совершенствования их нормирования, порядка измерений требует дополнительных решений.

В протоколе заседания Учёного совета Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (протокол № 3 от 14.12.2016) отмечено: «... в нормативных и методических документах оценки шума имеется тенденция отхода от измерений и нормирования его спектральных характеристик...» Некоторое пренебрежение в гигиенических и инженерных оценках «спектрами производственного шума» обусловлено, на наш взгляд, трудностью сравнения, по крайней мере, девяти спектральных величин с их нормативными значениями.

Физические величины, характеризующие звук, являются функцией времени. Поэтому их можно представить в виде суммы гармонических колебаний с различными частотами и амплитудами. Зависимость амплитуды (или эффективного значения) гармонических составляющих звуковой волны от частоты называется спектром звука. Бесспорно утверждение: всякий производственный и иной шум (звук) имеет свой характерный для него спектр, определяемый источником и путями распространения волны.

По нашему мнению, спектральный анализ шумов в технике и гигиенической акустике [9], особенно в диагностических целях, используются недостаточно эффективно. Изучение спектрального содержания звуков, по большому счёту, позволяет обнаружить неисправности

в работе машин, выделить доминирующие источники шума, производить рациональный выбор средств защиты от него (эффективность работы различных средств зависит от спектров шумов), а также доказать или опровергнуть диагноз профессиональной тугоухости. Расчёты звукопоглощения и звукоизоляции окажутся несостоятельны, если будут учитывать только эквивалентные значения непостоянного звука. Сопоставление спектров при наличии нескольких источников зачастую позволяет решать задачи определения ведущего источника зашумления территории и/или помещений [9].

Субъективные оценки содержания шумов используют в диагностике технического состояния автомашины. Так, мастера сервисных центров с помощью фонендоскопа пытаются определить возможные неисправности отдельных блоков двигателя по специфическим звукам. Практически они используют традиционный в медицине – метод аускультации. Однако в процедуре постановки диагноза существует негласное правило необходимости дополнения субъективной информации о пациенте объективными лабораторно-инструментальными характеристиками. Существующие измерительные средства для поиска неисправностей у автомашин (несмотря на их серьёзное программное обеспечение) недостаточно используют методики спектрального анализа.

Спектр шума также содержит информационную компоненту, которая, например, может проявляться в разнице психофизиологических реакций пассажиров и водителей транспорта на шум двигателя [7]. Описанным обстоятельствам принадлежит большое теоретическое значение для дальнейшего совершенствования гигиенического нормирования шумов, организации охраны труда, транспортной безопасности и т.д.

Цель – измерить шум в кабинах автомобилей с тем, чтобы показать гигиеническую значимость его спектрального содержания в анализе сходства и различия в спектрах шума двигателей внутреннего сгорания, работающих на бензине, природном газе или дизельном топливе.

Методы и объёмы исследований

Измерение шумов в кабинах выполняли по требованиям стандартов [3,4] согласно поставленной задаче: измерить и оценить спектральное содержание шумов от двигателей трёх типов. Для анализа звука моторов необходимо было устранить или минимизировать дополнительные источники зашумления: аэродинамический шум, посторонние внешние шумы, проникающие в салон автомобиля через не плотности кузова и остекление, структурные шумы, которые проникают в кабину через элементы подвески к кузову силового агрегата, трансмиссии, системы выхлопа, ходовой части. Согласно стандарту [3] длительность измерений постоянного шума на рабочем месте оператора машины должна быть не менее 15 с. Поэтому замеры выполняли в режиме холостых оборотов (2/3 от

максимального числа на территории гаража или в боксах), максимально исключаящих известные помехи. Замеры выполняли в течение 60 с., трижды, с использованием шкалы усреднения «Быстро» (Fast). Микрофон крепили на уровне уха водителя (на высоте 0,80 м от настила кабины) и на расстоянии до 10 см с горизонтальной ориентацией оси устройства на переднее стекло (на двигатель).

Измерены шумы в 71 кабине автомашин от 1991 г. до 2013 г. выпуска. Замеры проводили в автомобилях с бензиновым двигателем (63 ед.), на природном газе (4 ед.) и с дизельным приводом (4 ед.). Для анализа взяты результаты измерений в 58 легковых (ВАЗ, РЕНО, КИА и пр.) машинах, в 5 пассажирских автобусах, работающих на бензине, в 4 автобусах с двигателями, работающими на природном газе, и в 4 машинах с дизельным приводом (1 грузовик, 1 трактор, 2 пассажирских автобуса).

Для измерений использовали поверенный шумомер-виброметр – интегрирующий анализатор спектра портативный «Октава 110 (ЭКО) / ЭКОФИЗИКА – 110 А» (1 кл. точности). До и после измерений проводили проверку прибора с помощью поверенного калибратора АК-1000.

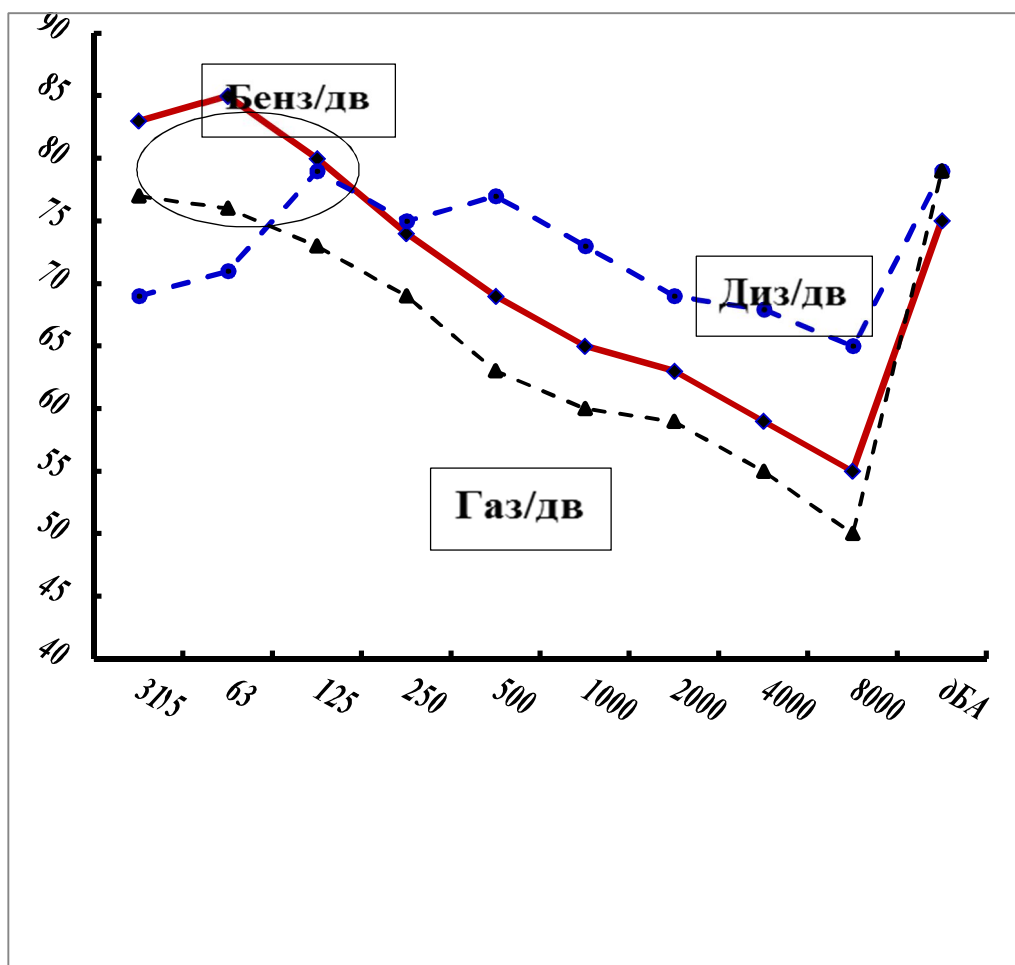
Результаты и обсуждение

Анализ спектра звука двигателя и его эквивалентного уровня не обнаружил зависимости изношенности обследованных автомобилей от года выпуска, поскольку «сроки эксплуатации» не несут в себе информации о реальном пробеге автомобиля, возможных ремонтах, техническом и ежедневном уходе и пр.

На рисунке показан график спектров шума от трёх типов двигателей внутреннего сгорания. Кривые получены путём энергетического суммирования по обследованным объектам. Видно, что в кривой спектра бензинового двигателя определяется всплеск на октавах 31,5, 63 и 125 Гц. Этот факт закономерно обнаруживается на всех частных графиках спектра шума от этого типа двигателя независимо от его мощности. Кроме того, и в предыдущих исследованиях обнаруживали такую же особенность для этого типа двигателей. В кабинах автотранспорта, работающего на газовом или дизельном топливе, указанная закономерность не наблюдается, но полученные кривые достаточно специфичны для соответствующего типа мотора.

Следует обратить внимание, что в итоге суммирования шумов определяется превышение предельно-допустимых уровней [11] на шкале А (дБА). Замеры звука в каждой машине по отдельности такие несоответствия не обнаружили.

Анализ представленного графика ставит вопрос о сходстве спектров разных двигателей. Корреляционный анализ [12] определил, что его спектральные кривые аналогичны между собой на 89 %. Данный факт объясняет требование ГОСТ Р.51616-2000 [4]: «Автотранспортные средства одного типа в отношении внутреннего шума не должны иметь существенных различий по...» В конструкции изученных двигателей и обследованных машин достаточно много одинаковых устройств и деталей, и процесс распространения звука связан в первую очередь (как не старались исключить при замерах!) с вибрацией корпуса машин.



Спектры шума от трёх типов двигателей внутреннего сгорания:

Бенз/дв – двигатель, работающий на бензине, Газ/дв – двигатель, работающий на природном газе, Диз/дв – дизельный двигатель

Представляет также интерес, насколько хорошо анализируемые кривые рисунка могут быть описаны элементарными функциями. Анализ их трендов привёл к таблице, в которой показаны соответствующие коэффициенты аппроксимации. Из таблицы следует, что наилучшее приближение для бензиновых моторов – логарифмическая функция ($y = -11,1 * \ln(x) + 87,561$ и $y = -11,41 * \ln(x) + 78,138$). Другие кривые рисунка лучше всего описываются, соответственно, степенной и экспоненциальной функцией. Данные факты означают в целом,

что анализируемые спектры должны также иметь существенные различия.

Коэффициенты аппроксимации спектров шума элементарными функциями

Тип двигателя и автомобиль	Элементарные функции			
	Линейная	Экспоненциальная	Степенная	Логарифмическая
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Легковые машины на бензиновом двигателе	0,574	0,560	0,599	0,627
Автобусы на бензиновом двигателе	0,597	0,578	0,606	0,638
Автобусы на газовом двигателе	0,272	0,294	0,368	0,360
Грузовые машины на дизельном двигателе	0,012	0,015	0,0001	6E-07

Обнаруженные различия (в целом на 11 %) кривых спектрального содержания звука от разных двигателей внутреннего сгорания, в том числе и характерный «всплеск» на графике бензинового двигателя, определены их устройством и принципом работы.

Дизель – это поршневой двигатель внутреннего сгорания, работающий по принципу мгновенного самовоспламенения распылённого топлива, под воздействием разогретого при сжатии воздуха. Ведущей причиной возникновения шума является периодическое увеличение давления в цилиндрах при хаотическом сгорании топлива. Мелкие фрагменты солянки испаряются в ускоренном режиме и соединяются с воздушной массой. Благодаря достаточно высокому температурному воздействию образовавшаяся смесь легко воспламеняется, и поджог смеси искрой – не требуется. Кроме того, топливовоздушная смесь формируется гораздо быстрее, чем в бензиновом двигателе, что также может повлиять на обнаруженные различия в спектрах.

В цилиндрах бензиновых моторов сдвливается только воздух, температура которого соответствует примерно 900 °С. Бензин подаётся отдельно для последующего сгорания. Воздух и горючее в бензиновых движках сжимается во впускном коллекторе, после чего топливо попадает в отсек для дальнейшего сжигания. Когда завершается акт сжатия, выполняется финальный этап образования топливовоздушного состава. После сдвливания полученная смесь достигает температуры примерно 500 °С, а затем выполняется процедура её воспламенения с использованием искры.

Газовые двигатели используют внешнее образование газозвушной смеси и воспламенение её от свечи зажигания, как в карбюраторном бензиновом двигателе. При этом газозвушная смесь образуется во впускном коллекторе путём впрыскивания (инъекции) газа.

Гигиенические оценки спектра [11] действующего шума предполагают процедуру сравнения 9 величин, каждая из которых имеет своё регламентируемое значение.

Использование значений «предельного спектра» для этого (несмотря на то, что в гигиенической акустике [9] в последние годы о нём незаслуженно забыли) несколько разряжает ситуацию. Однако математические построения на базе 9 параметров разницы «эталон-норматив» несколько затруднительны, особенно, если таких пар больше двух.

Сравнительный анализ абсолютных значений различий полученных суммарных значений по среднегеометрическим октавам с нормируемыми величинами [11] каких-либо закономерностей не обнаружил. Спектры шума от бензинового мотора начинают превышать регламентируемые уровни с октавы 63 Гц, от газовых двигателей обследованных автобусов – с октавы 125 Гц. Полученные абсолютные значения расхождений между нормируемыми величинами спектра и сумм значений по всем обследованным транспортным единицам наиболее оптимально описываются полиномиальным уравнением шестой степени (коэффициент аппроксимации 0.996), что ещё раз указывает на сложности сравнительного спектрального анализа.

В современной математике достаточно много способов получения однозначной (альтернативной) оценки многообразных параметров. Зачастую используем метод функционалов расстояний в n -мерном Евклидовом пространстве [1,6,10]. Анализ спектральных расхождений в едином, однозначном представлении (по всем автомашинам) позволил получить вклад каждой частоты в общее количество несоответствий, а также оценить их в обобщённом показателе [8]: $D= 1,234$. Данная величина означает, что в совокупности 71 пары «эталон – норматив» несоответствия требований по спектральному содержанию шумов в среднем составляют 23 %.

В работах Колганова А.В. [7] доказывается, что при воздействии постоянной акустической энергии напряжение функциональной системы слуха и других систем организма, обеспечивающих работоспособность оператора, прямым образом, зависят от энтропии шума. При равенстве интенсивности и вероятностных характеристик воздействия факторов, сдвиги показателей функционального состояния больше, если один из параметров акустического раздражения является сигналом. Влияние шума на психику человека возрастает с увеличением его интенсивности, а также с уменьшением ширины октавных полос в спектральном содержании. Постоянные или периодические превышения регламентируемых уровней звука на отдельных октавах или их совокупности при соблюдении норматива эквивалентного уровня (дБА) в кабине могут сформировывать адекватные изменения физиологического статуса водителя (оператора), в том числе и в виде развития преждевременного утомления, особенно на очень мощных автомашинах.

Особенности конструкции моторов, кузовов автомашин, а также измеренные спектры звука в кабинах, другие обстоятельства заставляют утверждать, что для полноценной

гигиенической оценки условий труда водителя по акустическому фактору недостаточно знать и сравнивать с предельно-допустимыми санитарными нормативами и техническими нормами [4,11] уровни шума только в децибелах, скорректированных по шкале А (дБА).

Санитарные нормативы спектрального содержания шума [11] обоснованы, в первую очередь, психофизиологическими изменениями у оператора, распределением интенсивности звука по октавным полосам среднегеометрических частот (Гц) обычной человеческой речи (на уровне 60-70 дБА). Несоблюдение требований по интенсивности звука на октавных полосах среднегеометрических частот, несомненно, влияет на слышимость речи в кабинах и салонах транспортных средств. Поэтому пренебрежение в техническом нормировании и конструировании машин гигиенических требований к спектральному содержанию шумов не может обеспечить полный акустический комфорт оператора, даже при соблюдении требований по уровню звука на шкале дБА.

Выводы

1. В анализе спектров шума в кабинах 71 машины обнаружили сходство и различие их содержания, зависящее от используемого типа двигателя. Выявленные специфики спектральных кривых на рисунке могут оказать помощь в экспертизе результатов измерений фактора в кабинах и салонах машин, а также и в диагностике нарушений слуха.

2. Дальнейшее гигиеническое нормирование спектрального содержания звука автомобильных двигателей требует новых психофизиологических исследований с коррекцией гигиенических нормативов по речевым уровням, по «информационным компонентам» [7] на холостых оборотах мотора и при движении автомашины;

3. В анализе шумов двигателей можно использовать более глубокое (чем 1/1 или 1/3 октавы) разложение спектральных кривых с тем, чтобы выявить их специфику, зависимую от типа мотора, которую можно использовать в диагностике динамики технического состояния машин и степени их изношенности;

4. Технические стандарты на автотранспорт должны учитывать гигиенические нормативы [11] силы звука (дБ) в октавных полосах среднегеометрических частот (Гц) и определять специфику процедуры измерения и анализа спектрального содержания шума в кабинах и салонах (вплоть до применения методов получения однозначной оценки всех сравниваемых параметров);

5. Применённая в анализе автомобильных шумов математическая процедура [1,6,10], однозначной оценки 9 пар «эталон-норматив» позволяет устранить существующие трудности в гигиенических и инженерных оценках их спектрального содержания.

Список литературы

1. Антомонов М.Ю. Методика формирования показателей в эколого-гигиенических исследованиях // Гигиена труда. – 1993. – № 7. – С. 20-23.
2. Гигиенические критерии оценки и классификации условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряжённости трудового процесса: Руководство (Р. 2.2.2006-05). – М.: Роспотребнадзор, 2006.
3. ГОСТ 30683-2000 (ИСО 11204-95) Шум машин. Измерение уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других контрольных точках. Метод с коррекциями на акустические условия. Дата введения 2003-01-01.
4. ГОСТ Р. 51616-2000. Автомобильные транспортные средства. Шум внутренний. Допустимые уровни и методы испытаний (с Изменением N 1). – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000 год. Введён в действие: 2001-01-01.
5. ГОСТ Р. 52051-2003. Механические транспортные средства и прицепы. Классификация и определения. Официальное издание. – М.: Стандартинформ, 2008. Введён в действие: 2004-01-01.
6. Кармолин А.Л., Сыромятников Ю.П. Интегральная оценка условий труда // Гигиена и санитария. – 1987. – № 9. – С. 40-41.
7. Колганов А.В. Информационно-энергетическая модель непостоянного шума и её применение в гигиене труда: автореферат дис. ... д-ра биолог. наук : 14.00.07 / Киев. НИИ гигиены труда и проф. заболеваний. – Киев, 1989. – 46 с.
8. Красовский В.О. Прогноз безвредного стажа работающих во вредных условиях / В.О. Красовский, Г.Г. Максимов, Ю.Г. Азнабаева / под научной редакцией профессора Максимова Г.Г. / LAP LAMBERT Academic Publishing is a trademark of: OmniScriptum GmbH & Co. KG. – 2014 – 233 с. – URL: <http://www.LjubljKnigi.ru>; <https://www.morebooks.de/store/ru/book/> (дата обращения: 10.10.2014).
9. Красовский В.О. Актуальность сравнительного спектрального анализа шумов в санитарном надзоре // Гигиена и санитария. – 2012. – № 1. – С. 83–84.
10. Прикладная статистика: Классификации и снижение размерности: справ. изд. / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
11. СП № 4616-88. Санитарные правила по гигиене труда водителей автомобилей. – URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293841/4293841565.htm>.
12. Фёрстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа: Руководство для экономистов / пер. с нем. и предисл. В.М. Ивановой. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 302 с.