

М173734

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

А. А. СТРОКИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМА ВЫПУСКА ДВУХТАКТНОГО
МОТОЦИКЛЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Диссертация написана на русском языке

(Специальность 05.520 — «Техника безопасности и
противопожарная техника»)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в МВТУ имени Н. Э. Баумана.

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор Юдин Е. Я.

Официальные оппоненты:

д. т. н. Круглов М. Г.,

к. т. н. Осипов Г. Л.

Ведущее предприятие — ВНИИМОТОПРОМ, г. Серпухов.

Автореферат разослан « . . . » 1972 г.

Защита диссертации состоится « . . . » 1972 г.
на заседании « . . . »

сковского ного Зна-
мени высш Баумана

по адресу: м 5.

Ваши с просьба
высылать

С дисс теке учи-
лица.

Ученый лов Е. С.

М 173734

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы весьма остро встал вопрос снижения шума авто- и мототранспорта. Особенно неблагоприятными в акустическом отношении оказались мотоциклы, снабженные двухтактным двигателем, шум которых в значительной степени определяется шумом выпуска. Несмотря на ряд работ в области борьбы с шумом транспорта, выполненных ранее, задача снижения шума выпуска этого двигателя исследована недостаточно полно. Шум многих мотоциклов из-за высокого уровня шума выпуска часто соизмерим с шумом тяжелых машин, снабженных дизельным двигателем, хотя мощность мотоциклов во много раз меньше последних. Нередко мотоциклы не удовлетворяют существующим санитарным нормам.

Целью диссертационной работы являлось:

- разработка методики стендовых акустических измерений;
- определение типовых экспериментальных шумовых характеристик исследуемого источника в зависимости от режима работы двигателя;
- теоретическое исследование процесса шумообразования на выпуске и разработка методики расчёта спектра шума этого источника с целью получения обоснованных исходных данных для проектирования глушителя;
- создание нового глушителя шума выпуска для мотоцикла класса 175 см³, обеспечивающего снижение шума до международных норм.

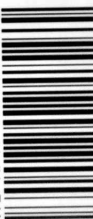
МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Существующие методы экспериментальных исследований шума мотоциклов можно разделить на две большие группы. К первой относятся методы исследований, применяемые в дорожных условиях при движении мотоцикла на мерном участке; ко второй - стендовые, или лабораторные методы, при которых мотоцикл (или его наиболее шумный узел - двигатель с системами впуска и выпуска) устанавливается неподвижно на специально оборудованных тормозных стендах, позволяющих проводить измерения на различных режимах работы двигателя.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

И В Т У З.
И. И. З. Баумана
БИБЛИОТЕКА

НТБ МГТУ им. Н. Э. Баумана



1173734

Исследование
Строкин А. А.

Основным достоинством дорожных измерений является возможность оценить шум мотоцикла в целом в реальных условиях, близких к условиям эксплуатации. Однако более обстоятельные исследования с измерением всего комплекса параметров, характеризующих работу двигателя, в полевых условиях крайне затруднены. Поэтому в качестве основного метода экспериментального изучения шума мотоциклов были приняты стендовые стационарные испытания. Принимая также во внимание, что в заводских условиях измерение мощности и экономичности двигателей проводится, как правило, на специально оборудованных стационарных стендах, была поставлена задача исследовать возможности использования таких стендов для одновременных акустических измерений. Исследуемые стенды располагались в гулких помещениях — боксах объемом 80–100 м³. Поскольку в таких помещениях условия акустических измерений близки к условиям в реверберационной камере, для определения шумовых характеристик двигателей нами был применен метод отраженного поля. При измерениях использовалась звукоизмерительная аппаратура фирмы "Брюль" и "Кьер".

Важное достоинство примененного метода — довольно простой способ измерения звуковой мощности источника шума. Она определялась из соображений наличия в помещении диффузного отраженного поля. К такому полю можно применить статистический метод расчета, который дает для уровня звуковой мощности следующее выражение:

$$L_p = L + 10 \lg V - 6 \quad \text{дБ}, \quad (I)$$

где L — уровень звукового давления, измеренный в отраженном поле, дБ;

V — постоянная помещения, м².

Однако в реальном помещении область диффузного поля, для которого справедливо выражение (I), ограничена. Чем ближе к источнику звука, тем большую ошибку дает применяемый статистический подход, ибо увеличивается влияние прямого звука и нарушается равномерность переноса энергии по различным направлениям. В связи с этим расстояние от источника звука до точек измерений выбирали таким образом, чтобы акустическое отношение (отношение энергии отраженного звука к энергии прямого звука) было не менее 5. С другой стороны, область диффузного поля ограничена влиянием интерференции волны вблизи стен и углов помещения.

Поэтому измерительные точки выбирались на расстоянии $\ell = 0,25\lambda$ от ограждающих поверхностей и $\ell = 0,7\lambda$ от углов помещения (λ — длина волны, на которой проводились измерения). Качество звукового поля в выбранной таким образом зоне зависит от величины и формы измерительного помещения, так как они обуславливают спектр собственных частот объема помещения. В табл. I приведен средний интервал δf_{cp} между двумя смежными собственными частотами для одного из типичных исследуемых боксов. Из таблицы видно, что с ростом частоты средний интервал быстро убывает и для данного бокса, начиная с частоты 250 гц, не превышает 1 Гц. Это означает, что резонансная избирательность исследуемого помещения практически может наблюдаться лишь в области низких частот. Другим важным критерием, характеризующим качество отраженного поля, является его неравномерность. Обычно в технической акустике поле считается пригодным для измерений, если его неравномерность не превышает 2 дБ, поэтому измерение неравномерности звукового поля в исследуемой зоне диффузного поля позволило уточнить диапазон, в котором возможны качественные измерения. На высоких частотах качество диффузного поля было несколько улучшено установкой рассеивающих щитов.

Таблица I

f , Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
δf_{cp} , Гц	9,68	2,52	0,628	0,157	0,039	0,098	0,0024	0,0006

Сравнение основных акустических параметров исследуемых помещений (времени реверберации, общего звукопоглощения, среднего коэффициента звукопоглощения) с аналогичными параметрами помещений, исследуемых в работах других авторов, также позволило сделать предположение о допустимости формул архитектурной акустики и в нашем случае.

Таким образом, на основании предварительно проведенных исследований было установлено, что в помещении данных стендов имеется область диффузного поля, качество которого позволяет проводить измерения с достаточной степенью точности, начиная с полосы частот, средняя геометрическая частота которой равна 250 гц.

Для подтверждения правильности предлагаемой методики были проведены сравнительные измерения спектра звуковой мощности мотоцикла двумя методами: в условиях свободного звукового поля и в отраженном поле бокса. Как и ожидалось, некоторое расхождение в измеренных спектрах имело место лишь на низких частотах. Кроме того возможность использования данных стендов для исследования шума двигателей мотоциклов была подтверждена измерением спектра уровней звуковой мощности одного и того же двигателя на разных стендах. Было получено совпадение результатов измерений с разницей $\pm 1,5$ дБ.

Некоторые трудности при проведении измерений представил шум помех. Для заглушения шума посторонних источников, а также для осуществления надежного разделения исследуемых источников были сконструированы съемные диссипативные глушители и съемный продуваемый кожух. В результате даже при весьма эффективных глушителях выпуска удалось снизить общий шум от посторонних источников по отношению к исследуемому шуму выпуска не менее, чем на 5-7 дБ. Обладая высокой эффективностью шумоглушения, стендовые диссипативные глушители тем не менее не оказывали практически никакого влияния на режим работы двигателя и его эксплуатационные характеристики.

Одновременно с измерениями шума проводилось измерение других параметров двигателя: крутящего момента, оборотов, расхода топлива и воздуха.

Для разработки методики перехода от стендовых измерений к дорожным были проведены дополнительные исследования звукового поля мотоцикла в открытом пространстве. При этом был обнаружен факт приближенного равенства средних уровней звукового давления и уровней звукового давления, измеренных в точках, лежащих в плоскости среза глушителей выпуска под углом 30° к горизонту. Это позволило получить для расчета уровней звукового давления в условиях дороги $L_{гор}$ по данным стендовых измерений $L_{бокс}$ следующую приближенную зависимость:

$$L_{гор} \approx L_{бокс} - 10 \lg(2\pi r^2) + 10 \lg B - 6, \quad 25, \quad (2)$$

где r - расстояние от линии проезда мотоцикла до микрофона, м.

Контрольные испытания показали удовлетворительную сходимость результатов эксперимента и расчетов по формуле (2).

Таким образом, на основании проведенных исследований можно считать, что стендовые акустические измерения дают надежный результат. Это открывает большие возможности для организации научных и практических работ по снижению шума мотоциклов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведенное автором в соответствии с разработанной выше методикой определение звуковой мощности отдельных источников шума мотоциклетного двигателя позволило определить долю участия каждого источника в формировании общего спектра. Наиболее интенсивным источником является процесс выпуска. Его спектр занимает полосу частот практически от 20 до 15000 гц, превышая остальные источники в данном диапазоне частот не менее, чем на 10-15 дБ. Максимальные составляющие звуковой мощности этого источника находятся в среднечастотной области и достигают более 130 дБ. Спектр шума выпуска занимает несколько меньший диапазон частот. Его максимальные составляющие расположены в октавной полосе 500 гц. Их звуковая мощность у отдельных двигателей может достигать 120 дБ. Максимальные составляющие спектра шума собственного двигателя (впуск и выпуск заглушен) расположены преимущественно в области высоких частот 1000-2000 гц, а их звуковая мощность не превышает 108+110 дБ.

В результате обработки опытных данных в реферируемой работе были получены обобщенные зависимости для суммарного шума незаглушенного выпуска и его спектра, изображенные на рис. 1 и 2. Эти зависимости позволяют ориентировочно оценить ожидаемую величину максимального шума выпуска дорожного мотоцикла на различных режимах работы двигателя.

Пример. Рассчитать максимальную величину суммарной звуковой мощности шума незаглушенного выпуска и октавный спектр звуковой мощности этого источника для двигателя дорожного мотоцикла, имеющего рабочий объем цилиндра $V_h = 0,15$ л., при $n = 4000$ об/мин.

По обобщенной кривой на рис. 1 находим, что значению $n = 4000$ об/мин соответствует обобщенный суммарный уровень звуковой мощности ($L_{pz} - 20 \lg V_h$) равный 146 дБ. Откуда суммарная звуковая мощность

$$L_{pz} = (L_{pz} - 20 \lg V_h) + 20 \lg V_h = 129,5 \text{ дБ.}$$

$L_p - 20 \lg n$

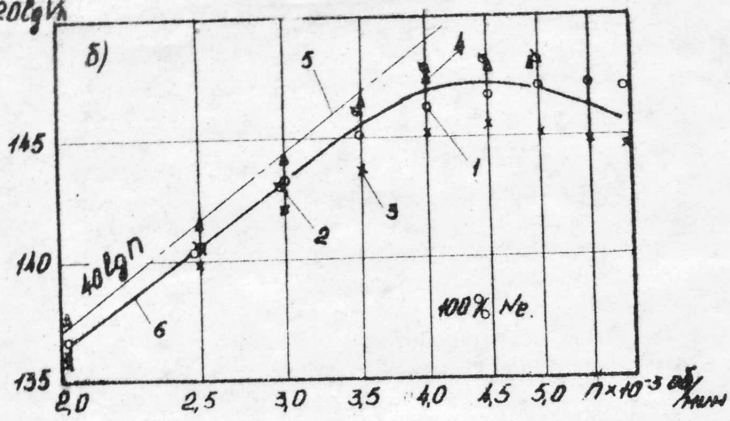


Рис. 1. Зависимость суммарной звуковой мощности шума выпуска от числа оборотов при работе двигателей по скоростной характеристике.
1, 2, 3, 4 - экспериментальные точки.

$(L_{pi} - L_{pz}) \text{ дБ}$

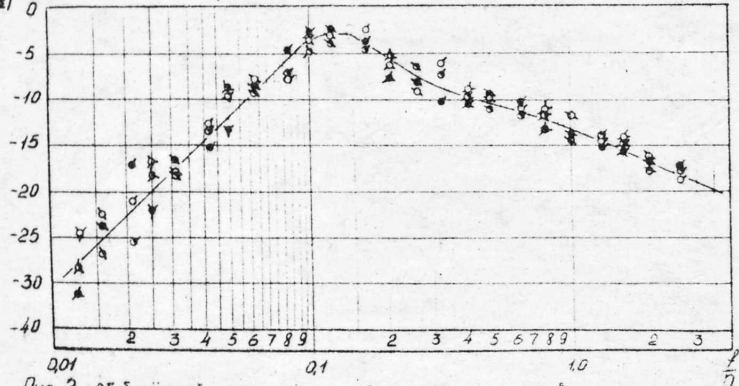


Рис 2 Обобщенный относительный спектр шума выпуска

Модель	Числа оборотов в мин		
	3000	4000	5000
Восход 2	□	■	▽
М 105	•	•	•
Восход 250	•	•	•

Для определения спектральных составляющих рассчитаем безразмерные частоты $\bar{f} = \frac{f_{cp}}{n}$, соответствующие средним геометрическим частотам октавных полос (f_{cp}) и по графику на рис. 2 определим величины относительных спектральных составляющих ($L_{p1} - L_{p2}$) соответствующих этим частотам. Прибавляя к найденному выше значению L_{p2} значения ($L_{p1} - L_{p2}$) со своим знаком, определяем искомый спектр. Все расчеты по определению спектра звуковой мощности сведены в таблицу 2.

Таблица 2

№ пп	f_{cp} , Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	$\bar{f} = \frac{f_{cp}}{n}$	0,0157	0,031	0,062	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0
2	$L_{p1} - L_{p2}$	-25	-18	-9	-3	-7	-10,5	-13	-16,5
3	L_{p1}	104,5	111,5	120,5	126,5	122,5	119,5	117,5	113

Проведенные автором дорожные измерения для ряда мотоциклов подтвердили основные закономерности, полученные при стендовых испытаниях.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШУМОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ВЫПУСКЕ ДВУХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

На основании анализа узкополосных спектров исследуемого источника было выяснено, что основную роль в формировании спектра шума выпуска двухтактного мотоциклетного двигателя играют дискретные составляющие, кратные числу выхлопов (пульсаций) в секунду.

Кроме того, на высоких частотах, наряду с дискретными составляющими имела место сплошная компонента. Ее относительный вес в спектре увеличивался по мере увеличения частоты, и в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 4000 и 8000 Гц она могла вносить уже ощутимый вклад в интенсивность генерируемого звука. Для расчета дискретных составляющих в работе предлагается методика, основанная на следующих предложениях:

- излучение шума обусловлено периодическими импульсами объемной скорости выпускных газов;
- форма этих импульсов определяется газодинамическими процессами на выпуске и рассчитывается методами, разработанными в теории двигателей;

- зависимость от времени массового расхода через выпускные окна двигателя и через любое сечение выпускной трубы принимается одинаковой. Это предположение справедливо только для коротких, в акустическом отношении, выпускных труб, длина которых существенно меньше длины звуковой волны. Для мотоциклов это предположение выполняется достаточно точно, по крайней мере для низких и средних частот;
- разложение зависимости от времени объемной скорости газа на выходе из выпускной трубы в ряд Фурье производится на ЭВМ. Для упрощения расчетов предлагается приближенная аналитическая зависимость, позволяющая получить искомые соотношения в конечном виде;
- при расчете акустического излучения открытый конец выпускной трубы рассматривается как поршень, все точки которого движутся в одинаковой фазе.

Для определения возмущающего импульса объемной скорости на выпуске можно использовать какой-либо из существующих методов расчета параметров газа в выпускной системе. Например, методы, изложенные в работах А.С.Орлина, М.Г.Круглова, В.К.Чистякова и других. Для акустических целей весьма удобен квазистационарный метод, разработанный А.С.Орлиным. Исходными величинами для проведения расчета являются параметры газа в цилиндре в момент начала выпуска, которые могут быть предварительно определены либо из теплового расчета, либо экспериментально.

Вначале определялась кривая изменения объемного расхода газа за выпускными органами: $Q = Q(t)$. Как показали расчеты, истечение отработавших газов по времени выпуска происходит неравномерно. В начале выпуска наблюдается резкое нарастание объемной скорости (или давления, затем менее резкий спад и, наконец, вновь небольшой подъем, обусловленный поступлением в цилиндр двигателя свежего заряда. Таким образом импульс объемной скорости выпускных газов имеет двугорбую форму, причем амплитуда первого горба гораздо больше амплитуды второго, а его длительность значительно меньше. Поэтому основную роль в процессе шумообразования играет первый горб. Физически это соответствует предположению, что наиболее интенсивный шум образуется в период свободного выпуска, когда вытекают наиболее го-

рячие газы, обладающие наибольшей энергией и образующие первый импульс.

Для того, чтобы иметь удобное выражение для аналитических расчетов, эту существенную с точки зрения генерации шума часть кривой можно схематично представить с помощью следующей функции:

$$Q(t) = \begin{cases} K(1 - t/\tau_3) \sin \pi \frac{t}{\tau_3} & \text{при } 0 \leq t \leq \tau_3, \\ 0 & \text{при } \tau_3 \leq t \leq T_0, \end{cases} \quad (3)$$

где T_0 - период повторения процесса выпуска; t/τ_3 - безразмерное текущее время; τ_3 - время свободного выпуска. Эта идеализация сохраняет основные свойства реального процесса: кривая является плавной, фронт нарастания объемной скорости газов круче, нежели ее спад. Постоянная K найдется из условия равенства объемов газа, вытекшего за время свободного выпуска в реальном и идеализированном случаях, то есть:

$$V = \int_0^{\tau_3} Q(t) dt, \text{ откуда } K = \frac{\pi V}{\tau_3}. \quad (4)$$

Величины V , τ_3 , T_0 , необходимые для численного описания функции $Q(t)$ всегда могут быть определены из газодинамического расчета двигателя для рассматриваемого числа оборотов. Представляя ее в виде ряда гармонических составляющих Q_m в соответствии с теоремой Фурье получим:

$$Q_m^2 = \left[\frac{2Ka}{\pi T_0 (a^2 - b^2)^2} \right]^2 \left\{ \left[\pi (a^2 - b^2) - 2ab \sin b \tau_3 \right]^2 + 16a^2 b^2 \cos^4 \frac{b \tau_3}{2} \right\} \sin^2(a + b) (5a)$$

$$Q_m^2 = \left(\frac{K}{2\omega_0 T_0} \right)^2 (1 + \sin^2) \sin^2(a + b), \quad (5b)$$

где $a = \frac{\pi}{\tau_3}$; $b = i \cdot \omega_0 = \omega_i$ - круговая частота; $K = \frac{\pi V}{\tau_3}$.

Акустическое излучение i -ой составляющей считаем независимым от других составляющих, что оправдывается линейностью акустического излучения (несмотря на нелинейность газодинамических процессов в выпускной системе).

В соответствии со сделанным в начале предположением об эквивалентности нашего излучателя пульсирующему поршню в работе различаются два режима излучения. Для звуковой мощности в режиме сферического излучения имеем формулу:

$$P_i = \frac{Q_{mi}^2 \rho_0 \omega_i^2}{8\pi C_0} \quad (k\tau_0 \leq 2) \quad (6)$$

и для режима направленного излучения:

$$P_i = \frac{Q_{mi}^2 \rho_0 C_0}{2\pi \tau_0^2} \quad (k\tau_0 > 2). \quad (7)$$

Здесь ρ и C — плотность и скорость звука в среде; $k = \frac{\omega}{C_0}$ — волновое число; Z_0 — радиус выпускной трубы. В силу некогерентности излучения общая звуковая мощность выпуска равна сумме мощностей составляющих, а уровень звуковой мощности i -ой составляющей $L_{pi} = 10 \lg \frac{P_i}{P_0}$ дБ, где P_0 — пороговое значение звуковой мощности равное 10^{-12} Вт.

Значения Q_{mi} находятся, как уже упоминалось выше, либо разложением в ряд Фурье импульсной кривой, подсчитанной по точной теории, либо используя приближенную зависимость (3), описанную выше. Автором такого рода расчеты для ста гармоник разложения были проделаны в нескольких вариантах на ЭЦМ. Оказалось, что для исследованных случаев приближенный метод дал результаты, отличающиеся не более, чем на $\pm 1,5$ дБ от точного метода. В частности, учет второго "горба" на импульсной кривой оказался ненужным. Для мотоциклов наиболее важен режим, представленный формулой (6). Для относительно высоких частот, при которых $\beta \gg \alpha$, формула (5а) может быть существенно упрощена:

$$Q_{mi} \approx \frac{\pi^2 V^2 \omega_i^2}{c_0^4 \omega^4} \quad (8)$$

Тогда из формулы (6), выразив соответствующие величины через конструктивные параметры двигателя, будем иметь:

$$P_i = \frac{\pi P_0 V^2 n^2}{1200 C_0 \tau_3^4 f^2 z^2} \quad (9)$$

или для уровня мощности дискретных составляющих шума в средней и высокочастотной части спектра:

$$L_{pi} = 86 + 10 \lg \frac{P_i}{C_0} - 40 \lg \tau_3 + 20 \lg \frac{V n}{z} - 20 \lg f, \text{ дБ.} \quad (10)$$

Здесь f — частота излучения; z — тактность двигателя;

n — число оборотов. Из формул (9-10) видно, что уровень шума растет с уменьшением времени выпуска и тактности двигателя, а также с увеличением объема цилиндра и степени сжатия (т.е. с увеличением V) и скорости вращения коленчатого вала. Формула (10) дает удовлетворительное совпадение с экспериментом, начиная с пятой-шестой гармоники. На более низких частотах надо пользоваться выражениями (5-6).

Обычно санитарное нормирование шума производится в октавных полосах частот. На высоких частотах количество гармоник в пределах полосы становится очень большим и расчет усложняется. Для произвольной полосы частот этой области с крайними частот-

тами f_1 и f_2 звуковая мощность может быть определена по формуле:

$$P_f = \frac{\pi \rho_0 V^2 f_0}{8 C_0 \tau_3^2} \left(\frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} \right), \quad (II)$$

а уровень звуковой мощности в октавной полосе частот, для которой $f_2/f_1 = 2$, при нормальных атмосферных условиях определяется из:

$$L_{\text{рокт}} = 75 + 20 \lg V - 40 \lg \tau_3 + 10 \lg \frac{n}{2} - 10 \lg f_{\text{ср}} \quad \text{дБ}, \quad (I2)$$

где $f_{\text{ср}}$ — среднегеометрическая частота октавной полосы.

Оценку зависимости звуковой мощности от скорости вращения можно получить, приняв в качестве первого приближения, что объем выпуска за один оборот не зависит от скорости вращения.

Тогда, полагая, что $1/\tau_3 \sim n$, (I3)

для суммарной звуковой мощности можно получить следующий закон:

$$P_{\Sigma} \sim n^4. \quad (I4)$$

На рис. I этот закон представлен наклонной прямой 5. Как следует из рисунка, в области низких чисел оборотов имеет место удовлетворительное совпадение с законом пропорциональности звуковой мощности четвертой степени числа оборотов двигателя. В области больших чисел оборотов наблюдаются меньшие степени, что можно объяснить увеличением отношения τ_3/T при увеличении n . То есть величина $1/\tau_3$ возрастает медленнее, чем по формуле (I3).

Для оценки сплошной компоненты шума было предположено, что звук генерируется в результате срыва вихрей при обтекании потоком выпускных газов фасонных элементов выпускных органов. При этом предполагалось, что выпускное отверстие эквивалентно диафрагме в трубе, а генерируемая звуковая мощность пропорциональна шестой степени скорости потока: $P \sim V^6$. Тогда, используя теоретические результаты, полученные Е.Я.Юдиным для расчета воздухопроводного шума и экспериментальные данные, полученные А.В.Толмачевым и Н.Мартин, для суммарного уровня вихревой составляющей в нашем случае можно написать следующую приближенную зависимость:

$$L_{P_{\Sigma}} \approx 30 \lg \zeta + 60 \lg V + 10 \lg \pi z_0^2 - 4 \quad \text{дБ}, \quad (I5)$$

где ζ — коэффициент местного сопротивления диафрагмы.

Спектральные составляющие с учетом вихревого шума рассчитывались с помощью экспериментального обобщенного спектра, полу-

ченного автором. Данная методика позволила несколько уточнить высокочастотную часть спектра, полученную расчетом с учетом только одной дискретной составляющей.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОЗДАНИЮ ГЛУШИТЕЛЕЙ ВЫПУСКА

Наиболее эффективным средством снижения шума выпуска мотоциклетного двигателя является правильно спроектированный глушитель. В реферируемой работе исследуются типовые схемы мотоциклетных глушителей. Получены оригинальные зависимости влияния на мощность двигателя и шум выпуска типичных конструктивных элементов глушителей. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработан новый глушитель для мотоцикла класса 175 см³, обеспечивающий снижение шума до существующих международных санитарных норм.

ВЫВОДЫ

1. Для исследования шумовых характеристик мотоциклетных двигателей разработана методика стендовых акустических измерений, которая существенно упрощает проведение исследований в заводских условиях, так как позволяет использовать обычные заводские стенды, предназначенные для обкатки и доводки двигателей, также для целей акустических измерений. При этом проведены исследования акустических качеств натурных стендов и определен класс точности стендовых акустических измерений.
2. В соответствии с разработанной методикой измерений проведено разделение шума в источнике и дано объяснение происхождения отдельных частей спектра звуковой мощности общего шума мотоцикла.
3. Наиболее интенсивным источником в общем шуме мотоцикла является шум выпуска. Его спектр занимает полосу частот практически от 20 до 15000 гц, превышая остальные источники в данном диапазоне частот не менее, чем на 10–15 дБ. Максимальные составляющие звуковой мощности этого источника находятся в среднечастотной области и достигают более 130 дБ.
4. Разработана методика перехода от стендовых акустических измерений к дорожным, что позволяет заранее оценить ожидаемый шум мотоцикла в условиях эксплуатации. Это открывает большие возможности для организации акустического контро-

ля при серийном производстве.

5. На основании полученных экспериментальных данных построены: обобщенная зависимость суммарного шума выпуска от числа оборотов при работе двигателя по скоростной характеристике и относительный обобщенный спектр, — позволяющие ориентировочно определить максимальный шум выпуска дорожного мотоцикла (суммарную величину и его спектр) в зависимости от режима работы двигателя.
6. Предложена физическая модель процесса шумообразования на выпуске двухтактного мотоциклетного двигателя. С помощью этой модели объяснено происхождение составляющих спектра исследуемого источника.
7. Разработана методика аналитического расчета, которая позволяет с достаточной для практики точностью и с учетом основных особенностей процесса шумообразования, оценить как суммарную величину шума выпуска, так и его спектр в зависимости от технических данных и режима работы мотоциклетного двигателя. Это позволяет оценить ожидаемый шум выпуска на стадии проектирования двигателя и своевременно принять обоснованные меры к уменьшению шума этого мощного источника.
8. Получены экспериментальные зависимости влияния основных конструктивных элементов типичного мотоциклетного глушителя шума выпуска на мощностные и шумовые характеристики двигателя.
9. На основе проведенных исследований разработан новый глушитель шума выпуска, на который получено авторское свидетельство об изобретении.

По материалам диссертации опубликовано:

1. Скорюкин Ю.В., Строкин А.А., Терехин А.С., Тупов В.В., Юдин Е.Я. Некоторые результаты исследования шума мотоциклов различных марок. "Мотовелопромышленность", 1971, вып. 3.
2. Скорюкин Ю.В., Строкин А.А., Терехин А.С., Тупов В.В., Юдин Е.Я. Применение магнитной записи при измерении шума мотоциклов в дорожных условиях. "Мотовелопромышленность", 1971, вып. 4.
3. Скорюкин Ю.В., Строкин А.А., Терехин А.С., Тупов В.В., Юдин Е.Я. Исследование характеристик направленности шума мотоцикла. "Изв. ВУЗов. Машиностроение", 1971, № II.
4. Строкин А.А., Терехин А.С., Тупов В.В., Юдин Е.Я. Стендовые

акустические измерения при исследовании шума мотоциклов.

"Изв.ВУЗов. Машиностроение", 1972, № 3.

5. Скорюкин Д.В., Строкин А.А., Терехин А.С., Тупов В.В., Юдин Е.Я. Исследование по уменьшению шума мотоциклов. Тезисы докладов на УП Всесоюзной акустической конференции. Л., 1971.
6. Скорюкин Д.В., Строкин А.А., Терехин А.С., Тупов В.В., Юдин Е.Я. Методика измерений при исследованиях шума мотоциклов. Тезисы докладов на Всесоюзном симпозиуме "Новые методы исследований шумов и вибраций и кибернетическая диагностика машин и механизмов", Каунас, 1970.