МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ЛЬВОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи
К-852

Инж. МЫЦЫК БОГДАН ИВАНОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК—СИДЕНЬЕ» АВТОБУСОВ

(Специальность 05.05.03 — автомобили и тракторы)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Львов — 1974

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ЛЬВОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи
К-852

Инж. МЫЦЫК БОГДАН ИВАНОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК—СИДЕНЬЕ» АВТОБУСОВ

(Специальность 05.05.03 — автомобили и тракторы)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Львов — 1974

Направляем Вам автореферат диссертации Б. И. Мыцыка на тему «Исследование колебаний системы «человек—сиденье» автобусов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Работа выполнена в Головном союзном конструкторском бюро по автобусам и на Львовском автобусном заводе.

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор **Р. А. Акопян.**

Официальные оппоненты:

Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор **А. Н. Островцев,**

кандидат технических наук, доцент **Б. В. Билык.**

Ведущая организация — троллейбусный завод им. Урицкого, г. Энгельс.

Автореферат разослан « 12 » IX 1974 г.

Защита диссертации состоится « 5 » XI 1974 г. в час. на заседании Совета механико-машиностроительного и механико-технологического факультетов Львовского ордена Ленина политехнического института (290646, г. Львов, ул. Мира, 12).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке института.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения принять участие в заседании Совета или прислать свои отзывы ученому секретарю Совета в двух экземплярах по адресу: 290646, г. Львов-13, ул. Мира, 1.

Ученый секретарь Совета

ВВЕДЕНИЕ

В Директивах XXIV съезда КПСС подчеркивается, что одной из важнейших задач девятой пятилетки является дальнейшее развитие автомобильного транспорта и, прежде всего, транспорта общего пользования. При этом предусматриваются значительное увеличение автобусного парка и улучшение транспортного обслуживания населения. В частности, объем перевозок пассажиров автобусами должен быть увеличен в 1,6 раза.

Наряду с увеличением парка автобусов большое внимание должно быть уделено улучшению эксплуатационных свойств и, в частности, повышению плавности хода, так как колебания, которые возникают при движении автобуса по дорогам с неровностями, оказывают большое влияние на комфортабельность езды, а также на среднюю эксплуатационную скорость движения автобусов и долговечность и надежность последних.

Комфортабельность езды в значительной мере определяется параметрами и свойствами подвески, шин и сидений. Если комплекс вопросов, связанных с влиянием шин и параметров подвески на колебания подрессоренной массы, исследован достаточно глубоко, то роль сиденья в системе «человек—автомобиль—дорога» выявлена недостаточно. Вследствие этого исследование влияния жесткости сиденья на параметры колебаний пассажира представляет, по нашему мнению, значительный интерес.

Только на основе результатов таких исследований могут быть разработаны рекомендации по выбору параметров сидений для автобусов различных типов.

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Уровень комфортабельности перевозок пассажиров в автобусах зависит от сочетания различных конструктивных и эксплуатационных факторов, обусловливающих соответствующую интенсивность колебаний.

С точки зрения комфортабельности езды необходимо, чтобы колебания и вибрации кузова не оказывали вредного воздействия на пассажиров или водителя. Так как полного исключения колебаний и вибраций автобуса конструктивными мерами достичь нельзя, а построение идеально ровных дорог нереально, то необходимо знать, до какого предела следует снижать колебания и вибрации, чтобы предупредить их неблагоприятное влияние на организм человека, и какое влияние при этом имеют параметры и их значения, а также эксплуатационные факторы.

Исследованию многочисленных аспектов этой проблемы посвящены работы отечественных и зарубежных ученых и специалистов. Наиболее значительны в этой области труды д-ров техн. наук Р. А. Акопяна, И. Г. Пархиловского, Я. М. Певзнера, Р. В. Ротенберга, В. Б. Цимбалина, А. А. Хачатурова, Н. Н. Яценко, канд. техн. наук О. К. Прутчикова, а среди зарубежных авторов — D. Dieckman, D. Meister, M. Mitschke (ФРГ), A. Chiesa (Италия) и др.

Особенно большое количество работ посвящено исследованию свойств подвесок, подробно исследованы амортизационные свойства шин и вопросы определения микропрофиля дорог. В последнее время некоторое внимание уделяется амортизационным свойствам сидений.

В начальной стадии исследования находятся вопросы комплексного воздействия параметров колебательной системы «человек—автомобиль—дорога» на колебания и их взаимодействия, а также вопросы определения оптимальных колебательных параметров автомобиля, обеспечивающих в эксплуатационных условиях необходимый комфорт перевозки пассажиров.

В настоящей работе рассмотрены следующие вопросы:

1. Определение основных факторов, характеризующих комфортабельность сиденья.

2. Исследование упругих свойств подушек автобусных пассажирских сидений.

3. Разработка практической инженерной методики выбора оптимальных колебательных параметров сидений при заданных параметрах шин, подвески и движения автобуса в различных эксплуатационных режимах.

4. Разработка стенда для эффективных экспериментальных исследований системы «человек—сиденье» на основе реальных колебательных систем автобусов.

5. Исследование влияния различных сочетаний колебательных параметров автобусов и сидений на низкочастотные и высокочастотные вертикальные колебания пассажиров.

6. Методика оценки комфортабельности езды в автобусе при различных параметрах сидений по значениям низко- и высокочастотных вертикальных колебаний пассажиров.

7. Разработка оптимальной конструкции автобусного сиденья.

ГЛАВА II. СИДЕНЬЕ В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК-АВТОМОБИЛЬ-ДОРОГА»

Удобство или комфорт езды пассажиров на сиденье в движущемся автобусе обеспечивается правильно подобранными ортопедическими формами, размерами и упругими характеристиками опорных элементов сидений.

В основу обеспечения ортопедической посадки человека на сиденье закладываются оптимальные параметры положения верхней части тела человека, угла между бедрами и туловищем, угла наклона ног и высоты сиденья. Посадка, не отвечающая требованиям

ортопедии, вызывает напряженную статическую работу мускулов и приводит к быстрому возрастанию усталости.

Важное значение для удобства посадки имеет форма опорных поверхностей сиденья. Сиденья с формами посадочных поверхностей, соответствующих форме человеческого тела, обладают определенными преимуществами по сравнению с сиденьями произвольных форм. Проведенные нами исследования показали, что формированные опорные поверхности сидений обеспечивают телу человека бо́льшую устойчивость, а также значительно уменьшают удельную нагрузку на тело пассажира. Правомерность данного утверждения тем очевиднее, чем больше жесткость опорных поверхностей. Сравнение значений удельного давления на тело человека на формированных и плоских фанерных сиденьях показало, что на сиденье с плоской опорной поверхностью удельное давление на тело человека возрастает примерно в два раза.

Исходными для определения форм и размеров сиденья являются антропометрические данные тела человека. По мнению НИИантропологии Московского Государственного университета, в основу расчетов размеров сидений могут быть положены антропометрические данные по какой-либо мужской группе, поскольку параметры основных размеров и массы тела мужчин, как правило, в среднем превышают аналогичные размеры женских групп.

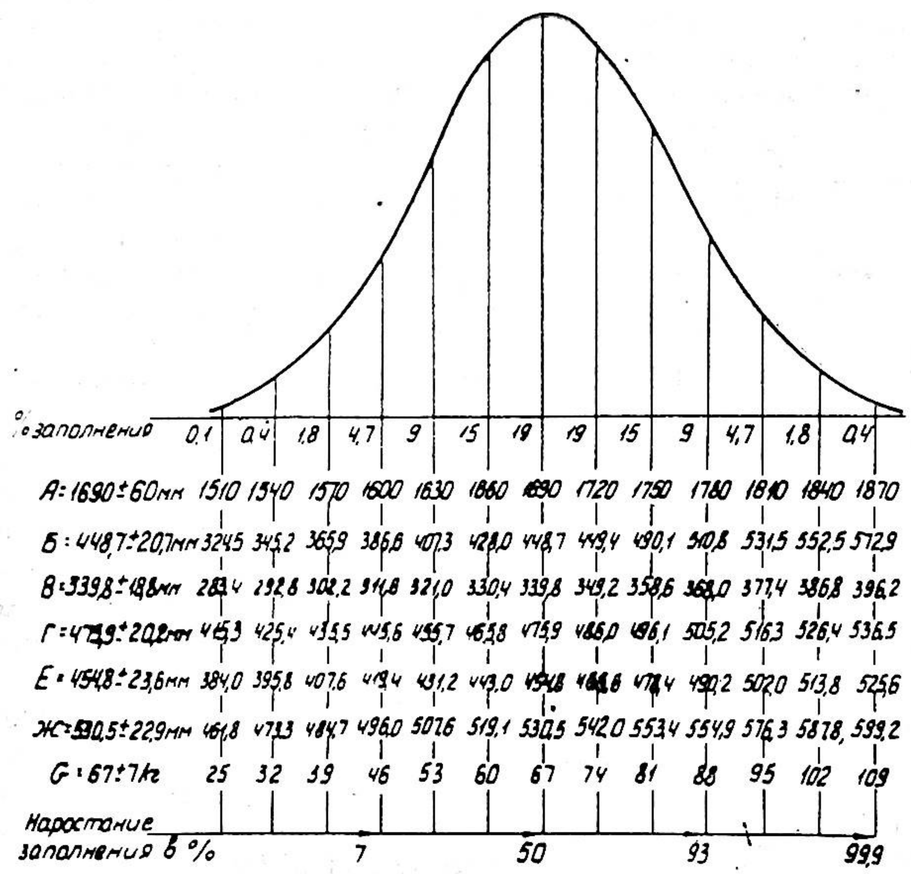

Рис. 1. Кривая нарастания заполнения размеров.

На рис. 1 приведены основные антропометрические размеры тела мужского населения УССР, где *А* — рост человека; *Б* — ширина плечей; *В* — ширина таза, сидя; *Г* — глубина сиденья; *Е* — высота верхнеберцовой точки; *Ж* — высота колена при согнутой ноге; *G* — вес тела, — а также кривая заполнения размерных признаков тела человека с разбивкой по долям квадратических отклонений каждого признака. На этом же графике приведены ряды охвата популяции от минимального размера каждого признака до максимального в процентах, указывающих на достаточно широкие пределы изменения. Практически, исходя из экономических соображений, за основу следует принимать усредненные статистические антропометрические данные.

Упругие характеристики сиденья зависят от конструкции и материала упругих элементов подушек. В качестве упругих элементов подушек широко применяются пружинные элементы и эластичные полимеры. Подушки, выполненные из полимерных материалов, в значительно меньшей степени аккумулируют энергию сжатия по сравнению с пружинными подушками, передающими пассажиру колебания системы почти без изменений. Из числа эластичных полимеров наибольшее распространение получили пенорезина и полиуретан. Как показали результаты проведенных нами исследований с подушками сиденья водителя автобусов ЛАЗ, выполненными из пенорезины и полиуретана, деформация этих материалов под нагрузкой протекает различно: пенорезина сжимается по мере возрастания нагрузки постепенно; пенополиуретан под нагрузкой вначале деформируется незначительно, но по достижении определенной нагрузки деформация возрастает резче. Пенорезина по сравнению с полиуретаном обладает значительно меньшей гистерезисной петлей, что характеризует свойство лучше восстанавливаться после сжатия (рис. 2).

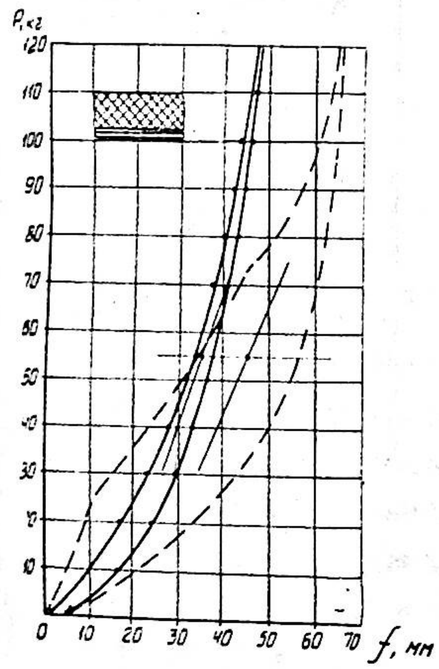

Рис. 2. Упругие характеристики подушек сидений водителя ЛАЗ:
——— пенорезина;
— — — полиуретан.

Жесткость подушек сидений, изготовленных из пенорезины, повышается с уменьшением их высоты и наоборот. Упругость сиденья зависит также и от упругих свойств основания подушки. Так, например, подушки, выполненные на пружинном основании, по сравнению с подушками на жестком основании имеют жесткость в 1,2—1,3 раза меньшую.

По результатам проведенных нами испытаний подушки сидений автобусов ЛАЗ-698, ЛиАЗ-677, ЛАЗ-695, ЛАЗ-697, ПАЗ-652 и троллейбуса ЗИУ-9, выполненные из пенорезины различной толщины, обладают жесткостью в пределах 17—55 *кг/см*. В данном случае жесткость подушки в основном предопределяется ее высотой. Как видно из рис. 3, уменьшение высоты подушки ниже 45 *мм* приводит к резкому увеличению жесткости, увеличение высоты подушки более 130 *мм* практически не меняет ее упругих свойств.

На рис. 4, *а*, *б*, *в* и *г* показано конструктивное исполнение подушек сидений, разработанных автором и при участии автора. Подушки, показанные на рис. 4, *а* и *в*, выполнены на жестком основании, подушка 4, *б* — на пружинном основании. Подушки 4, *а* и *б* получили широкое применение на моделях автобусов соответственно пригородного — ЛАЗ-695 и туристических — ЛАЗ-697 и ЛАЗ-699, которые бессменно эксплуатируются свыше 15 лет. Подушка сиденья 4, *в* — полумягкая, разработана для применения на городском автобусе с пневматической подвеской модели ЛАЗ-698.

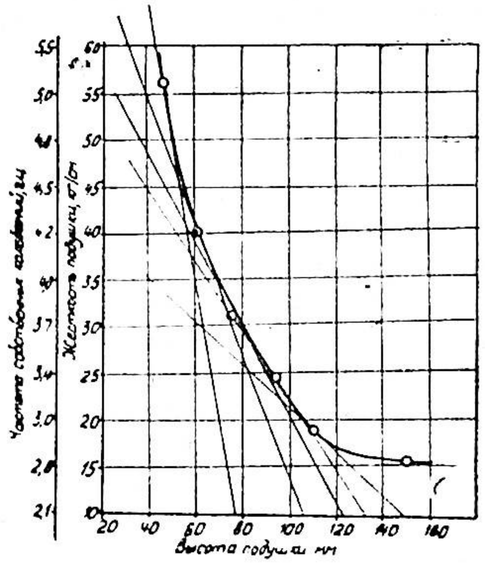

Рис. 3. Зависимость жесткости и частоты собственных колебаний подушки от ее высоты.

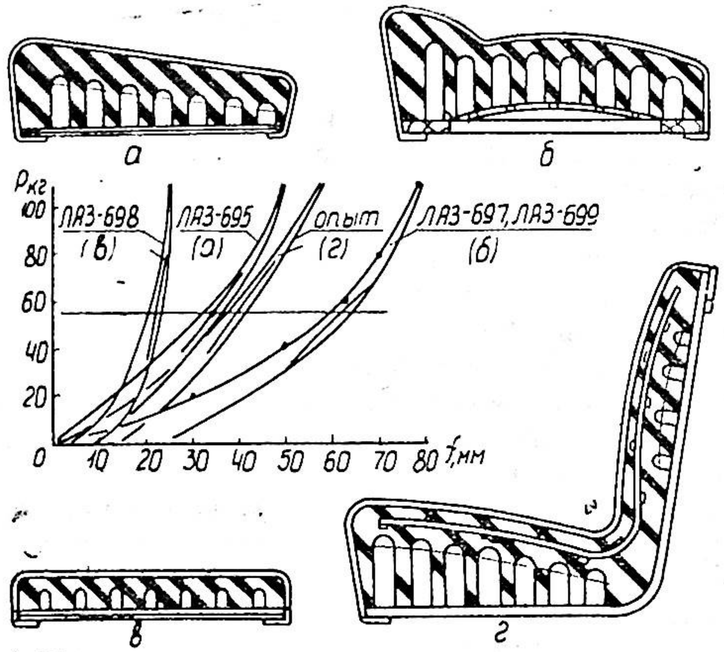

Рис. 4. Подушки мягких и полумягкого сидений и кривые жесткости.

На рис. 4, *г* показана конструкция цельного мягкого автомобильного сиденья, защищенного авторским свидетельством. Сиденье может устанавливаться на автобусах с подвесками различ-

ной жесткости. Особенностью данного сиденья является синхронность колебаний подушки и спинки, имеющих различную жесткость.

Самочувствие пассажира в движущемся автобусе зависит от характера и интенсивности колебаний, передаваемых пассажиру посредством сидений. Поэтому для оценки комфортабельности сиденья принимаются различные измерители колебаний. Наиболее простым измерителем является собственная частота колебаний системы «человек—сиденье».

На рис. 3 по оси ординат нанесены частоты собственных колебаний сидений, полученных расчетным путем (при статической нагрузке на сиденье 55 *кг*).

Зная диапазоны собственной частоты колебаний неподрессоренных масс (6—15 *гц*), подрессоренной массы (1—2,5 *гц*) и тела человека (4—5 *гц*), можно подобрать жесткость и высоту подушки в межрезонансной зоне. Исходя из этого, а также на основании зависимостей, показанных на рис. 3, можно сделать вывод, что сиденьям в межрезонансных зонах соответствуют частоты от 2,5 до 4,0 *гц* и от 5,0 до 6,0 *гц*. Для каждого конкретного случая диапазон частот собственных колебаний сидений может изменяться лишь в бо̀льшую сторону, так как диапазоны собственных частот автомобиля приняты по верхним предельным значениям.

Полная оценка комфортабельности езды пассажира на сиденье возможна при сопоставлении колебаний пассажира в реальном автомобиле и допустимых критериев выносливости человека к колебаниям. При этом комфортабельность перевозки в автомобиле будет тем выше, чем меньше отрицательное воздействие колебаний на пассажира.

Из современных исследований известно, что человек, представляющий собой сложную колебательную систему, при движении в автомобиле реагирует на изменение ускорений и разделяет в своих ощущениях частоты, а также направление действия колебаний. При этом чувствительность к колебаниям в значительной мере зависит от положения тела. Установлено, что периодические колебания с частотой выше 80 *гц* действуют преимущественно на кожную ткань, а частоты ниже 0,5 *гц* вызывают явление морской болезни.

Из изложенного следует, что проектирование автобусного, как и вообще автомобильного, сиденья должно базироваться на научной основе с учетом ортопедических требований, антропометрических размеров тела человека, природы колебаний и пределов чувствительности человека к низко- и высокочастотным колебаниям.

Глава III. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК—АВТОМОБИЛЬ—ДОРОГА»

Математический анализ вынужденных вертикальных колебаний пассажира на сиденье проведен для колебательной системы с тремя степенями свободы при допущении распределения веса по осям автобуса близкого к единице.

Учитывая сложность вычисления колебаний при взаимном воздействии подрессоренной массы и пассажиров, исследования амплитудно-частотных характеристик проводились при условии, что подрессоренная масса воздействует на колебания пассажира, а обратное явление отсутствует.

В качестве измерителя комфортабельности были приняты средние квадратичные значения ускорений в низко- и высокочастотном спектрах колебаний.

В качестве частотной характеристики воздействия рассматривался энергетический спектр или спектральная плотность

$$S(\omega) = \lim_{T \to \infty} \frac{4\pi}{T} \left[q(\omega) \right]^2, \qquad (1)$$

где $q(\omega)$ — спектр неровностей дороги (в случае синусоидальной неровности $q(\omega) = q$);

ω — частота колебаний.

Средние квадратичные ускорения с учетом взаимосвязи воздействия дороги и колебательных параметров определялись по известному из теории спектрального анализа выражению

$$\xi_3^2 = \int_0^\infty \left[\frac{\omega^2 a_3(\omega)}{q(\omega)} \right]^2 \lim_{T \to \infty} \frac{4\pi}{T} \left[q(\omega) \right]^2 d\omega, \qquad (2)$$

где $a_3(\omega)$ — спектр амплитуд системы «человек—сиденье».

Основной задачей исследования вертикальных колебаний трехмассовой системы являлось получение коэффициента передачи, зависящего от конструктивных параметров рассматриваемой колебательной системы и позволяющего осуществлять инженерное решение задачи по выбору оптимальных параметров этой системы, т.е.

$$\frac{\omega^2 a_3(\omega)}{q(\omega)} = \omega^2 \sqrt{\frac{(f^4 + 4\eta_1^2\xi_1^2)(1 + 4\eta_1^2\xi_2^2)}{\{[(f^2 - \eta^2)(1 - \eta^2) - \mu f^2 \eta^2] + 4\eta_1^2\xi_1^2(\eta^2 + \eta^2\mu - 1)^2\}[(1 - \eta_1^2)^2 + 4\eta_1^2\xi_2^2]}}, \qquad (3)$$

где $\eta = \frac{\omega}{\omega_1}$ — отношение частот возбуждения ω к собственным частотам колебаний ω_1 неподрессоренных масс;

$\eta_1 = \frac{\omega_2}{\omega_3}$ — отношение собственной частоты колебаний подрессоренной массы ω_2 к собственной частоте колебаний системы «человек—сиденье» ω_3;

$\mu = \frac{m_2}{m_1}$ — коэффициент — отношение подрессоренной массы m_2 к неподрессоренной m_1;

$$\omega_1^2=\frac{c_ш}{m_1};\ \omega_2^2=\frac{c_п}{m_2};\ \omega_3^2=\frac{c_с}{m_ч};\ f^2=\frac{\omega_2^2}{\omega_1^2};\ \xi_1=\frac{k_п}{2\omega_2 m_2};\ \xi_2=\frac{k_с}{2\omega_3 m_ч};$$

$c_ш, c_п, c_с$ — соответственно жесткость шин, подвески и сиденья;
$k_п$ — коэффициент сопротивления подвески;
$k_с$ — коэффициент сопротивления сиденья.

При вычислениях средних квадратичных ускорений за исходные данные принимались значения колебательных и эксплуатационных параметров, идентичные принятым для экспериментальных исследований.

С целью оценки амплитудно-частотных характеристик ускорений при заданных параметрах колебательной системы решение уравнений колебаний выполнялось на ЭЦВМ при допущении линейности характеристик упругих элементов.

Сопоставление значений средних квадратичных ускорений, полученных расчетным и экспериментальным путем, показало некоторое расхождение (18—22%), которое объясняется принятыми допущениями в расчетной схеме (линейность упругих характеристик, а также пренебрежение воздействием масс пассажиров на колебания подрессоренной массы).

Кроме того, были проведены исследования влияния жесткости и места расположения сидений по длине автобуса на комфортабельность перевозки пассажиров. При исследованиях рассматривалась также колебательная система, эквивалентная автобусу с пятью степенями свободы (рис. 5).

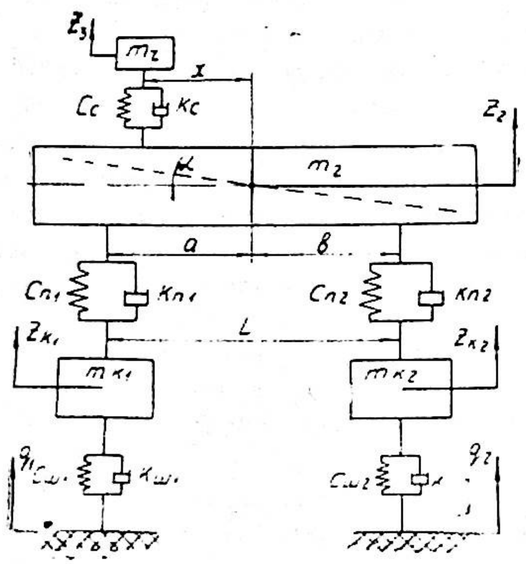

Рис. 5. Расчетная схема.

При допущении, что движение автобуса по дороге с синусоидальным профилем равномерное и прямолинейное, а колебания подрессоренной и неподрессоренных масс малые, а также, что воздействие неподрессоренных масс на колебания кузова незначительно, получены следующие уравнения колебаний:

$$\begin{aligned}
&A_1\ddot{z}_2+A_2\dot{z}_2+A_3z_2+A_4\dot{\alpha}+A_5\alpha=Q_1(t);\\
&B_1\ddot{z}_2+B_2\dot{z}_2+B_3z_2+B_4\dot{\alpha}+B_5\alpha=Q_2(t);\\
&m_3\ddot{z}_3+c_3z_3=c_3(z_2+x\alpha),
\end{aligned}\qquad(4)$$

где $A_1=\frac{1}{8}(c_{ш1}+c_{п1})(c_{ш2}+c_{п2})m_2;$

$$\begin{aligned}
&A_2=\frac{1}{4}k[2c_{ш2}(c_{ш1}+c_{п1})+c_{ш1}(c_{ш2}+c_{п2})];\\
&A_3=\frac{1}{16}[2c_{ш1}c_{п1}(c_{ш2}+c_{п2})+c_{ш2}c_{п2}(c_{ш1}+c_{п1})];\\
&A_4=\frac{1}{4}k[ac_{ш1}(c_{ш2}+c_{п2})-2bc_{ш2}(c_{ш1}+c_{п1})];\\
&A_5=\frac{1}{8}[ac_{ш1}c_{п1}(c_{ш2}+c_{п2})-bc_{ш2}c_{п2}(c_{ш1}+c_{п1})];\\
&B_1=\frac{1}{8}(c_{ш1}+c_{п1})(c_{ш2}+c_{п2})J_ч;\\
&B_2=\frac{1}{4}k[ac_{ш1}(c_{ш2}+c_{п2})-2bc_{ш2}(c_{ш1}+c_{п1})];\\
&B_3=\frac{1}{8}[ac_{ш1}c_{п1}(c_{ш2}+c_{п2})-bc_{ш2}c_{п2}(c_{ш1}+c_{п1})];\\
&B_4=\frac{1}{4}k[2a^2c_{ш1}(c_{ш2}+c_{п2})+b^2c_{ш2}(c_{ш1}+c_{п1})];\\
&B_5=\frac{1}{8}[a^2c_{ш1}c_{п1}(c_{ш2}+c_{п2})+b^2c_{ш2}c_{п2}(c_{ш1}+c_{п1})];\\
&Q_1(t)=-\frac{1}{8}\{[k_{ш1}\dot{q}_1(t)+c_{ш1}q_1(t)]c_{п1}(c_{ш2}+c_{п2})+[k_{ш2}\dot{q}_2(t)+\\
&\qquad+c_{ш2}q_2(t)]c_{п2}(c_{ш1}+c_{п1})\};\\
&Q_2(t)=-\frac{1}{8}\{a[k_{ш1}\dot{q}_1(t)+c_{ш1}q_1(t)]c_{п1}(c_{ш2}+c_{п2})-b[k_{ш2}\dot{q}_2(t)+\\
&\qquad+c_{ш2}q_2(t)]c_{п2}(c_{ш1}+c_{п1})\},
\end{aligned}\qquad(5)$$

где k — приведенный коэффициент сопротивления передней и задней подвесок;

$J_ч$ — момент инерции веса пассажира.

Для вычисления максимальных значений перемещений и ускорений пассажиров на полу автобуса соответственно z_2 и $\ddot{z}_2$ и на сиденьях z_3 и $\ddot{z}_3$ были получены выражения

$$\begin{aligned}
&z_2=E_1\sin\beta_1+E_2\sin\beta_2+E_3\sin\beta_3;\\
&z_3=N_1\sin\gamma_1+N_2\sin\gamma_2+N_3\sin\gamma_3+N_4\sin\gamma_4;\\
&\ddot{z}_2=(a^2+\omega_1^2)E_1\sin\beta_1+(b^2-\omega_2^2)E_2\sin\beta_2-\omega^2E_3\sin\beta_3;\\
&\ddot{z}_3=(a^2-\omega_1^2)N_1\sin\gamma_1+(b^2-\omega_2^2)N_2\sin\gamma_2-\omega^2N_3\sin\gamma_3-\omega_3^2N_4\sin\gamma_4,
\end{aligned}\qquad(6)$$

где коэффициенты E, N, β и γ определяются параметрами исследуемой системы.

Практические вычисления значений ускорений были проведены на базе реальных автобусов ЛАЗ-698 и ЛАЗ-699 соответственно с пневматической и рессорной подвесками.

Анализ амплитудно-частотных характеристик колебаний пассажира на сиденьях показал, как и следовало ожидать, что мини-

мальные значения ускорений находятся в зоне комфорта вблизи центра тяжести автобуса и увеличиваются по мере удаления от него, достигая максимальных своих значений в наиболее удаленных точках переднего и заднего свесов автобуса. С увеличением скорости движения ускорения в автобусе с подвеской пониженной жесткости (пневмоподвеска) в зоне расположения центра тяжести нарастали примерно пропорционально. Ускорения как подрессоренных масс, так и сидений, независимо от их жесткости, достигали своих максимальных значений в зонах над передней и задней подвесками при скорости 40 *км/час*, причем с увеличением или уменьшением скорости движения значения ускорений плавно убывали. В автобусе с подвеской повышенной жесткости (рессорная) независимо от места расположения сидений наибольших своих значений ускорения достигали при скорости движения 60—80 *км/час*, причем они убывали по мере уменьшения или увеличения скорости.

Глава IV. МЕТОДИКА И АППАРАТУРА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК—СИДЕНЬЕ»

Определение качественной зависимости вертикальных колебаний от изменения колебательных, конструктивных и эксплуатационных параметров на реальном автобусе связано со значительными трудностями и требует проведения продолжительных испытаний.

Для упрощения данных исследований в соавторстве с Р. А. Акопяном и И. Ф. Сикачем был создан специальный стенд, состоящий из приводной части с беговыми барабанами, для воспроизведения колебательной системы, эквивалентной автобусу. Колебательная система представляет собой переднюю (заднюю) подвеску автобуса (ЛАЗ-699 или ЛиАЗ-677) с погрузочной пассажирской площадкой и жесткой направляющей, закрепленной в подвижной опоре, позволяющей изменять коэффициент распределения подрессоренной массы в достаточно широком диапазоне. Эта экспериментальная установка дает возможность при изменении значений коэффициента распределения подрессоренной массы оценивать влияние на парциальные параметры колебаний следующих факторов: веса подрессоренной части автобуса, базы автобуса и соотношения координат центра тяжести подрессоренной части, жесткости упругих элементов подвески и шин, коэффициента сопротивления амортизаторов, жесткости упругих элементов сидений, частоты воздействия и высоты неровности дороги.

Одновременно с этим установка позволяет исследовать характер вертикальных колебаний, вызванных неровностями дороги, исключив влияние колебаний, создаваемых двигателем, трансмиссией и др. В качестве датчиков вертикальных ускорений подрессоренных и неподрессоренных масс на сиденьях использованы индуктивные датчики ДУ-5 комплекса виброизмерительной аппаратуры ВИ-6-5МА. Определение и запись амплитудно-частотных характеристик высокочастотных ускорений производились с помощью электроизмерительной аппаратуры фирмы «Брюль и Кьер».

При экспериментальной оценке влияния каждого исследуемого параметра на формирование низко- и высокочастотных вертикальных колебаний системы «человек—сиденье» на платформе стенда непосредственно над упругими элементами подвески устанавливались мягкие и полумягкие пассажирские сиденья. Для имитации микропрофиля дорожного покрытия использовались неровности синусоидального профиля, эквивалентные асфальтному покрытию удовлетворительного качества. Исследования проводились при различных колебательных параметрах, свойственных автобусам.

Колебания системы «человек—сиденье» замеряли непосредственно на подушке сиденья с грузом (55 *кг*), имитирующим пассажира.

Определение упругих характеристик мягкого и полумягкого сидений осуществлялось статической тарировкой при диапазоне нагрузки от 0 до 120 *кг* и записью перемещений при помощи датчиков перемещений на осциллографической бумаге.

Исследование вертикальных колебаний системы «человек—сиденье» в зависимости от конструктивных особенностей подвесок базировалось на эквивалентных колебательных системах, соответствующих автобусам ЛАЗ-699 с независимой пневматической подвеской, ЛиАЗ-677 с вариантами: зависимой пневматической и зависимой рессорно-пневматической подвесками.

Глава V. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ И ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК—СИДЕНЬЕ» АВТОБУСОВ

Результаты исследования ускорений низкочастотных колебаний системы «человек—сиденье» показывают, что независимо от сочетания принятых для исследования параметров и их значений с увеличением скорости движения вертикальные ускорения на мягком и полумягком сиденьях возрастают, но в различной степени (рис. 6).

Так, для ненагруженного автобуса с подвеской повышенной жесткости с увеличением скорости движения в диапазоне исследуемых скоростей на мягком сиденье ускорения возрастают в два раза, а на полумягком — в 3,3 раза. В ненагруженном автобусе с подвеской пониженной жесткости, а также в нагруженном автобусе, практически независимо от жесткости подвески, при увеличении скорости движения в том же диапазоне ускорения возрастают в меньшей степени — на мягком сиденье в 1,6 раза и на полумягком — в 2,2 раза.

Характерным является и то, что в ненагруженном автобусе при любой жесткости подвески и шин вертикальные ускорения на мягком и полумягком сиденьях интенсивно возрастают только при низких скоростях движения, в то время как в нагруженном автобусе — пропорционально скорости движения.

Изменение жесткости шин в принятом диапазоне скоростей движения практически не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на формирование ускорений, передающихся пассажиру на сиденье.

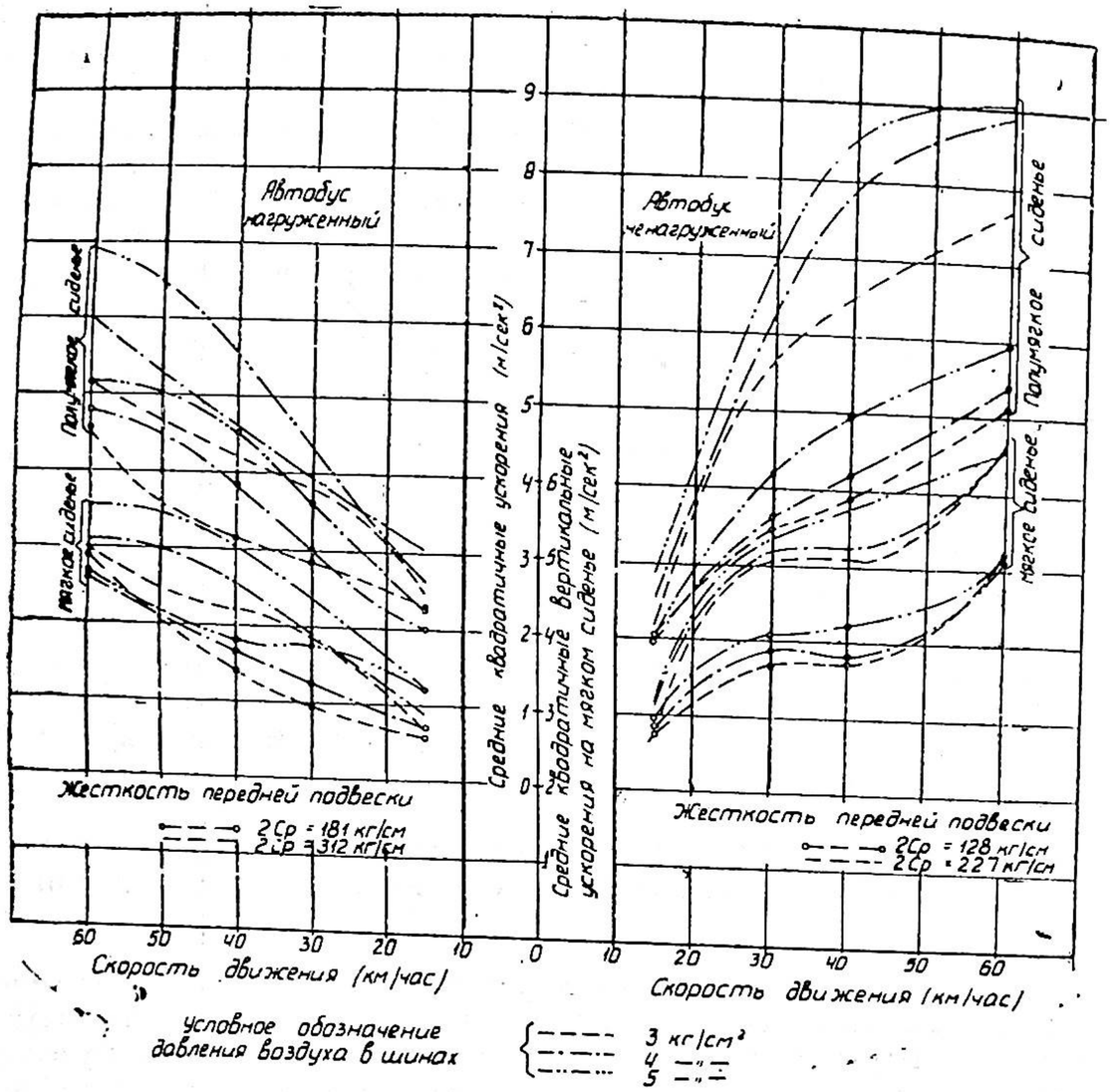

Рис. 6. Средние квадратичные ускорения колебаний пассажира на мягком и полумягком сиденьях.

Однако полумягкое сиденье способствует уменьшению низкочастотных колебаний в диапазоне начальных и средних скоростей движения, а мягкое сиденье — в диапазоне выше средних скоростей.

Для высокочастотных колебаний в отличие от низкочастотных характерны для каждой скорости движения определенные частоты с максимальными ускорениями, причем с увеличением скорости движения при любых принятых значениях колебательных параметров происходит смещение максимальных ускорений в область более высоких частот.

Изменение жесткости подвесок и шин, увеличение скорости движения, а также изменение нагрузки отражаются на ускорениях подушек сидений в основном лишь в зонах максимумов, в остальном диапазоне частот существенных изменений ускорений не наблюдается.

Если для полумягких сидений характерны максимальные ускорения в зоне частот 12,5—25, 30—60 и 100—160 *гц*, то для мягких сидений максимальные ускорения имеют четко выраженный характер и соответствуют узким зонам частот 25, 63 и 160 *гц*, т. е. верхнему пределу частот для зон максимальных ускорений полумягких сидений (рис. 7).

При этом наибольшие ускорения на мягком сиденье в 2—3 раза меньше таких же ускорений на полумягком сиденье, а влияние принятых значений колебательных параметров на ускорения мягкого сиденья незначительно.

Ускорения подрессоренной массы в большинстве случаев в диапазоне частот 12,5—30 *гц* ниже ускорений на полумягком сиденье,

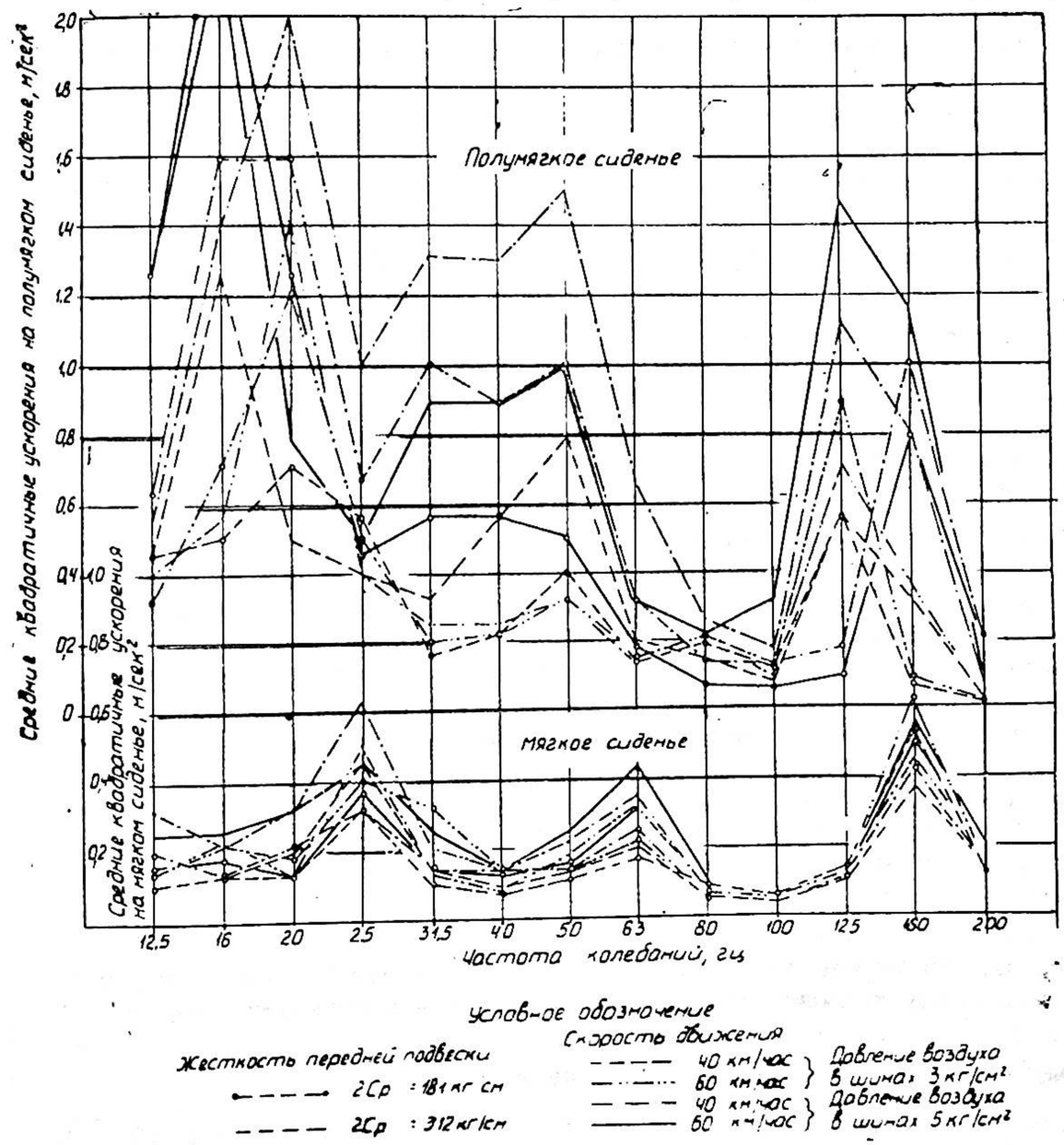

Рис. 7. Средние квадратичные ускорения высокочастотных колебаний пассажира на мягком и полумягком сиденьях.

а с повышением частоты при возрастании ускорений подрессоренной массы ускорения на сиденьях независимо от их жесткости резко уменьшаются и значительно меньше ускорений подрессоренной массы, причем мягкие сиденья, как и следовало ожидать, обнаруживают более высокие виброизолирующие свойства, чем полумягкие.

Исследования низкочастотных и высокочастотных колебаний системы «человек—сиденье» в автобусах с подвесками различной конструкции (независимой пневматической типа ЛАЗ-699, зависимой пневматической типа ЛиАЗ-677 и зависимой рессорно-пневматической) показали, что основное влияние на формирование колебаний оказывают выбор соотношений значений колебательных параметров автобуса, жесткость сидений и скорость движения, а также, в значительно меньшей мере, конструктивные особенности рассматриваемых подвесок.

В автобусе с независимой пневматической подвеской при различном сочетании колебательных параметров полумягкие сиденья уменьшают ускорения, передающиеся от подрессоренной массы пассажиру, на 50—60%; в автобусе с зависимой пневматической подвеской — соответственно на 40—65%; в автобусе с рессорно-пневматической подвеской — на 30—45%. При всех прочих идентичных значениях колебательных параметров средние значения ускорений в системе «человек—сиденье» — наименьшие в автобусе с независимой пневматической подвеской, несколько бо́льшие в автобусе с зависимой и наибольшие в автобусе с рессорно-пневматической подвеской.

Для установления взаимосвязи между ускорениями пассажира на сиденье и ускорениями подрессоренных масс автобуса при различных сочетаниях значений колебательных параметров автобуса и внешних возмущающих сил использован метод корреляционного анализа. Результаты корреляционного анализа ускорений низко- и высокочастотных колебаний пассажира на сиденьях различной жесткости совпали с результатами амплитудно-частотного анализа и показали идентичные зависимости. Показатели корреляционной связи между ускорениями подрессоренной массы и ускорениями на сиденьях позволяют с заданной достоверностью при минимальном числе замеров произвести оценку гасящих свойств сидений по отношению к различным сочетаниям рассматриваемых колебательных параметров автобусов и условий движения.

Комфортабельность сиденья определялась качественной и количественной мерой. Качественная мера комфортабельности сиденья характеризуется свойством сиденья уменьшать колебания пассажира, передаваемые подрессоренной массой, и выражается числовым отношением ускорений на сиденье $\ddot{z}_c$ к соответствующим ускорениям подрессоренной массы $\ddot{z}_п$. Значения отношений $\frac{\ddot{z}_c}{\ddot{z}_п}$ меньше единицы указывают на повышение комфортабельности, больше единицы — ее снижение.

Из сопоставления значений отношений $\frac{\ddot{z}_c}{\ddot{z}_п}$ мягких и полумягких сидений для низкочастотных колебаний вытекает, что мягкие сиденья при малых скоростях движения (15—30 *км/час*) хуже гасят колебания подрессоренной массы и в большинстве случаев повышают ускорения колебаний пассажиров; только с повышением скорости движения в пределах 40—60 *км/час* эффективность гашения ускорений на мягких сиденьях повышается. Полумягкие сиденья эффективнее во всем диапазоне скоростей, за исключением движения в ненагруженном автобусе с подвеской повышенной жесткости.

При высокочастотных колебаниях, особенно в диапазоне частот 12,5—40 *гц*, ускорения на полумягких сиденьях заметно превышают ускорения подрессоренной массы, но с повышением частот от 40 *гц* и выше значительно меньше их. Ускорения на мягких сиденьях почти во всем диапазоне частот независимо от нагрузки автобуса меньше ускорений подрессоренной массы.

Расхождение между результатами статистической обработки значений ускорений вертикальных колебаний и усредненными значениями отношений ускорений $\frac{\ddot{z}_c}{\ddot{z}_п}$ не превышает 6%, что является подтверждением правильности выбора исходной расчетной схемы и принятой методики проведения исследований.

Количественная мера комфортабельности сиденья определялась сопоставлением фактических значений оценочных параметров колебаний на сиденьях с существующими допустимыми значениями выносливости организма человека к вертикальным колебаниям, что позволило произвести оценку пригодности отдельно жестких, полумягких и мягких сидений для автобусов различного типа в сочетании с эксплуатационными условиями движения.

ВЫВОДЫ

1. Создание автобусного сиденья должно быть научно обоснованным и опираться на глубокое знание и использование ортопедических и антропометрических данных человека, а также, что особенно важно, знание природы колебаний и пределов чувствительности человека к воздействиям колебаний и вибраций, возникающих при движении автобуса.

2. Исследование и анализ основных упругих характеристик сидений, выполненных из различных материалов, позволили выработать рекомендации по выбору материала и конструкции сидений.

3. Результаты исследования собственных частот колебаний системы «человек—сиденье» показали, что при использовании упругих материалов в качестве подушек сидений необходимо учитывать собственные частоты колебаний отдельных колебательных систем автобуса.

4. В результате проведенных исследований низко- и высокочастотных колебаний на сиденьях различной жесткости выявлено, что сиденья по-разному передают колебания подрессоренной массы пассажирам; найдены численные значения вертикальных колебаний системы «человек—сиденье» с сиденьями различной жесткости при различных колебательных параметрах автобуса и скорости движения. Результаты исследований позволили установить оптимальное сочетание значений колебательных и конструктивных параметров автобусов и сидений, при которых может быть достигнут оптимальный комфорт для данных эксплуатационных условий; выявлены зоны максимального комфорта.

5. Математический метод корреляционного анализа позволил провести проверку расчетным путем парциальной взаимосвязи колебаний подрессоренной массы и пассажиров на сиденьях различной жесткости. Благодаря этому методу с использованием полученных данных была проведена оценка влияния различных колебательных параметров на измерители комфортабельности пассажиров в конкретных условиях движения, а также выполнено прогнозирование численных значений измерителей комфортабельности для различных условий движения.

6. Разработанные в процессе исследования стенд и методика исследований, а также использованная современная аппаратура позволили в сравнительно короткие сроки провести целый комплекс исследований колебаний системы «человек—автомобиль—дорога» при сочетании различных колебательных и конструктивных параметров и могут быть применены при исследовании аналогичных колебательных систем других типов автомобилей.

7. Исходя из установленной качественной меры комфортабельности, была составлена таблица коэффициентов передачи для сидений различной жесткости в автобусах с различной совокупностью значений колебательных параметров с учетом скорости движения или частоты колебаний. Принятый метод оценки гасящих свойств сидений может быть распространен и на другие упругие элементы.

8. Разработанная методика статистического анализа колебаний дает возможность объективно оценивать степень комфортабельности езды пассажира при движении автобуса в условиях, близких к эксплуатационным.

9. На основе проведенных исследований удалось обосновать рациональный выбор сиденья с упругой характеристикой, обеспечивающей удовлетворительный комфорт для автобуса данного типа, что представляется важным при унификации типов сидений автобусов различного назначения.

10. Основные положения работы нашли практическое применение в конструкциях сидений городских автбусов ЛиАЗ-677, ЛАЗ-698, КАвЗ-3100, туристических и междугородных автобусов ЛАЗ-697, ЛАЗ-699, ЛАЗ-«Украина», а также в конструкциях унифицированных автобусных сидений и сидений перспективных автобусов единого унифицированного семейства.

Содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Мыцык Б. И. Основные предпосылки проектирования автобусных сидений. Сборник научных работ аспирантов ЛОЛПИ, вып. I, Львов, 1961.

2. Акопян Р. А., Атоян К. М., Мыцык Б. И., Сикач И. Ф. Стендовые исследования влияния колебательных параметров и условий эксплуатации на вертикальные колебания подрессоренных и неподрессоренных масс автобуса ЛАЗ-699А с пневматической подвеской. «Труды ГСКБ по автобусам», вып. I. Львов, 1969.

3. Комаров М. С., Акопян Р. А., Мыцык Б. И., Сикач И. Ф. Исследование влияния жесткости сидений на вертикальные ускорения пассажиров при различных колебательных параметрах автобусов с пневматической подвеской. «Труды ГСКБ по автобусам», вып. I. Львов, 1969.

4. Акопян Р. А., Мыцык Б. И. Исследование влияния конструктивных параметров транспортного средства и пневматической подвески на вибронагруженность сидений с различными характеристиками. «Труды ГСКБ по автобусам». Львов, 1970.

5. Акопян Р. А., Мыцык Б. И., Корнатовский Ю. Б. К особенностям вертикальных колебаний автобусов с подвесками различных типов. «Труды ГСКБ по автобусам». Львов, 1970.

6. Мыцык Б. И. К вопросу выбора параметров пассажирских сидений автобусов. «Труды ГСКБ по автобусам». Львов, 1971.

7. Акопян Р. А., Мыцык Б. И. Экспериментальное исследование демпфирующих и виброизолирующих свойств пассажирских сидений автобусов. «Автомобильная промышленность», 1972, № 4.

8. Мыцык Б. И., Макаров В. В., Самодала В. И. К вопросу исследования колебаний в системе «дорога — автомобиль — человек». «Труды ГСКБ по автобусам». Львов, 1972.

9. Мыцык Б. И. Сиденье транспортного средства. Авторское свидетельство на изобретение № 253601. «Бюллетень изобретений», 1970, № 30.

Материалы диссертации доложены:

1. На XXII научно-технической конференции Львовского ордена Ленина политехнического института, г. Львов, 1965 г.

2. На научно-техническом Совете ГСКБ по автобусам, 1974 г.; троллейбусного завода им. Урицкого, г. Энгельс, 1974 г.; на кафедре автомобилей Львовского ордена Ленина политехнического института, 1972, 1974 гг.

БГ 00140. Сдано к набору 5. VII. 1974 г. Подписано к печати 16. VII. 1974 г.
Формат бумаги 60x90/16. Печ. л. 1,25 Зак. 3398. Тираж 180. Бесплатно.

Дрогобычская городская типография Львовского областного управления
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
Дрогобыч, Дзержинского, 7.