

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Е.М. И В А Н У С Ь

ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ  
САЛОНОВ АВТОБУСОВ

/ 05.482 - Теплоснабжение, газоснабжение и вентиляция /

Диссертация написана на русском языке.

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

М и н с к - 1971

Работа выполнена в Львовском ордена Ленина  
политехническом институте

Научные руководители: Кандидат технических наук, доцент

**Д. Б. ЧЕРНИН**

Кандидат технических наук, доцент

**К. М. АТОЯН**

Официальные оппоненты: Заслуженный деятель науки и техники БССР,  
доктор технических наук, профессор

**Э. Х. ОДЕЛЬСКИЙ**

Кандидат технических наук, доцент

**А. П. ГЛУСНИС**

Ведущее предприятие - Белорусский филиал Всесоюзного научно-  
исследовательского института техниче-  
ской эстетики / отдел условий труда /

Автореферат разослан "30" декабря 1971 г.

Защита диссертации состоится "4" февраля 1972 г. на  
заседании Объединенного Ученого Совета Белорусского ордена Труда-  
ного Красного Знамени политехнического института.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БПИ.

Отзывы / 2 экз. / просим направлять по адресу:

г. Минск - 27, Ленинский проспект, 65, БПИ, Ученому секретарю  
Совета.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА,  
кандидат технических наук,

д о п е н т

**И. С. КАЧАН**

Пятилетним планом развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 гг., предусмотрено значительное развитие городского пассажирского транспорта, обеспечивающее существенное улучшение обслуживания населения. В настоящее время постоянно возрастают требования к комфортабельности пассажирского автотранспорта и, в особенности, к его микроклимату.

В летнее время в салонах автобусов часто создается крайне неблагоприятный микроклимат. Температура воздуха в салонах автобусов достигает 35-40°C при высокой влажности воздуха, с превышением внутренней температуры по отношению к наружной на 8-10°C и более. Вследствие инсоляции, особенно при отсутствии теплозащитных мероприятий, температура внутренних поверхностей крыши и в особенности ее остекленных скатов, а также других элементов достигает 35-48°C.

Отечественные автобусы имеют в основном естественную вентиляцию через окна, люки крыши и заборники воздуха в лобовой части кузова. Эти устройства обычно предварительно не рассчитываются, а выполняются по традиции или установившейся технологии. Что же касается расчетных требований, то как в отечественной, так и в зарубежной литературе имеются разноречивые указания о нормировании вентиляции по кратности воздухообмена от 20 до 100-кратного обмена в час / кроме случаев кондиционирования воздуха /. Данные только о воздухообмене не дают полного представления о состоянии микроклимата в автобусах различных типов, при различной пассажирозагрузке и эксплуатации их в различных климатических условиях.

Для автобусов отсутствуют санитарно-гигиенические нормы метеорологических параметров, воздушной среды; не разработаны оптимальные схемы организации воздухообмена в салонах и методы аэродинамического расчета естественной вентиляции.

Особо обстоит вопрос с кондиционированием воздуха на транспорте, нашедшим широкое применение в США и частично в странах Западной Европы. Массовое применение кондиционирования воздуха в отечественных автобусах, в частности городских, в настоящее время технически и экономически нецелесообразно, учитывая кратковременность пребывания пассажиров в автобусах. Однако это не снижает необходимости изучения кондиционирования воздуха для туристских автобусов. Так, в НАМИ Е.А.Малиным проведены исследования частичного кондиционирования воздуха в микроавтобусах РАФ-977Д и рекомендованы к внедрению на перспективных моделях микроавтобусов РАФ.

В ЦСКБ по автобусам проводятся работы по созданию установок кондиционирования воздуха для автобусов инженерами В. Гиссаром и Н. Шипиным.

В работе приведены исследования и предложен способ расчета необходимого воздухообмена в салонах автобусов, а также дана разработанная методика расчета естественной вентиляции / втяжки / салонов автобусов под действием набегающего потока воздуха на основании результатов исследований полных моделей автобусов ЛАЗ-695М и ЛиАЗ в вертикальной трубе.

Диссертация представлена на 164 страницах, включает 102 страницы текста, 27 рисунков, 18 таблиц, 40 графиков, 9 фотографий и список использованной литературы.

## Глава I. Способы организации и нормирования воздухообмена в салонах отечественных и зарубежных автобусов

Приводится краткое описание систем вентиляции отечественных и зарубежных автобусов.

Зарубежные автобусы в зависимости от их назначения, имеют естественную, механическую или совмещенную вентиляцию и кондиционирование воздуха. В городских и пригородных автобусах преобладает естественная вентиляция. Междугородные и туристские автобусы имеют как естественную, так и механическую вентиляцию с сосредоточенным притоком воздуха или с индивидуальной раздачей к каждому пассажиру. В туристских автобусах часто применяется кондиционирование воздуха.

Конструктивной особенностью кузовов зарубежных фирм, влияющей на микроклимат в салонах автобусов и улучшающей его, является то, что почти все они имеют теплоизоляцию крыши, боковин и пола. Окна имеют шторки или применяются детермальные стекла, защищающие салон автобуса от прямой солнечной радиации.

Согласно техническим условиям на производство автобусов / проект для СЭВ-1968 г./ количество вентиляционного воздуха для отечественных автобусов принимается равным 20-кратному воздухообмену в час при скорости движения автобуса не более 15 км/час. Если указанный воздухообмен принять для салона автобуса ЛАЗ-695М при номинальной пассажирозагрузке 62 человека, то количество воздуха на одного пассажира определится всего лишь 12 м<sup>3</sup>/час. Это резко противоречит существующим нормам по вентиляции в летний период для помещений гражданских зданий,

где количество наружного воздуха на одного человека принимается не менее  $40 \text{ м}^3/\text{час}$ .

В ряде зарубежных стран принимается 30-кратный воздухообмен при скорости движения автобуса  $36 \text{ км/час}$  [*Finding Better Ways Ventilating Bus Interior „Bus and Coach“ №4 1961*]

Вместе с тем имеются и другие рекомендации. Так, *H. Björck* [*„Automobile Engineer“* т. XI 1960] в своей работе по отоплению и вентиляции пассажирских автобусов указывает, что в летний период в салоне автобуса желательно иметь 100-кратный воздухообмен.

Существующие литературные данные по вентиляции автобусов при отсутствии кондиционирования, не дают никакого представления о том, какой же при указанных воздухообменах будет создан температурно-влажностный режим, то есть в какой мере будет достигнута главная цель вентиляции.

## Глава II. Расчет необходимого количества воздуха для вентиляции салонов автобусов

В основу нормирования вентиляции необходимо положить следующее:

1. Санитарно-гигиенические нормативы и степень комфортности, которая будет принята на данном этапе;
2. Вредности, поступающие в салоны автобусов.

До специального изучения вопроса о санитарно-гигиеническом нормировании метеорологических условий в салонах автобусов можно предварительно использовать имеющиеся санитарные нормы для других помещений, гражданских и промышленных, и опыт исследований нормирования при борьбе с избыточным теплом.

Согласно СНиП П-Г 7-62 для общественных и жилых зданий принято допустимое превышение внутренней температуры по отношению к наружной на  $3^\circ\text{C}$ ; для промышленных зданий — от 3 до  $7^\circ\text{C}$  при расчетной наружной температуре для вентиляции до  $+28^\circ\text{C}$ . По проектным предложениям, для расчета вентиляции железнодорожных вагонов / без кондиционирования воздуха / — на  $4^\circ\text{C}$ . До установления гигиенистами допустимого перепада температуры для автобусов, следовало бы исходить из величины перепада  $3-5^\circ\text{C}$  при эксплуатации автобусов на географических широтах  $40-60^\circ$  и расчетной летней наружной температуре для вентиляции до  $+28^\circ\text{C}$ .

При расчетных температурах для вентиляции выше  $+28^\circ\text{C}$  эффективнее применять частичное или полное кондиционирование воздуха.

Основными вредностями в салонах автобусов являются: углекислота, выделяемая пассажирами при дыхании; влаговыделения и тепловыделения

от пассажиров; теплопоступления от солнечной радиации и работающего двигателя через стенки и неплотности моторного отсека.

В работе приведены расчеты необходимого количества воздуха для вентиляции салонов автобусов ЛАЗ-695М и ЛАЗ-697М по борьбе с перепадами вредностями. Результаты расчетов сведены в таблицу I.

Таблица I

Тип автобуса	Количество воздуха, м <sup>3</sup> /час											
	При борьбе с углекислотой		При борьбе с теплоизбытками		При борьбе с теплоизбытками							
					Кузов без теплоизоляции				Кузов с теплоизоляцией и зашторенными окнами			
					Стоянка		Движение 50 км/час		Стоянка		Движение 50 км/час	
	Л.общ	на I	Л.общ	на I	Л.общ	на I	Л.общ	на I	Л.общ	на I	Л.общ	на I
крат-ность	чел.	крат-ность	чел.	крат-ность	чел.	крат-ность	чел.	крат-ность	чел.	крат-ность	чел.	
ЛАЗ-695М 62 пасса- жира	990	15	1490	24	5500	89	5220	84	4280	69	4160	67
	28		48		157		150		122		119	
ЛАЗ-697М 82 пасса- жира	770	24	770	24	1250	133	4000	125	3000	94	2900	91
	22		22		121		114		86		83	

При изоляции кузова пенополиуретаном и зашторивании окон необходимое количество вентиляционного воздуха уменьшается в среднем только на 25% по сравнению с автобусом без теплоизоляции, так как преобладающими теплоизбытками в салоне автобуса являются теплопоступления от пассажиров и от солнечной радиации через остекленные поверхности. Вместе с тем изоляция кузова, зашторивание окон или применение детермальных стекол ведет к значительному уменьшению количества радиационного тепла, падающего на пассажиров / примерно в два раза /, улучшая этим микроклимат в салонах автобусов. / Работы по исследованию влияния различных видов теплоизоляции кузовов на микроклимат в салонах автобусов ведутся в ИСКБ по автобусам инж. Гинювичем В.И. /

С целью более детального изучения влияния отдельных факторов на микроклимат в салоне автобуса, была построена специальная экспериментальная камера, представляющая собой отсек автобуса ЛАЗ-695Е. Камера была снабжена системой вентиляции и специальной системой облучения.

В результате исследований в инсоляционной камере при наличии в

ней 14 человек и облучении с напряжением лучистого тепла около 0,8 кал/см<sup>2</sup> мин получено количество вентиляционного воздуха для борьбы с теплоизбытками при перепаде температуры внутреннего воздуха по отношению к приточному в 4°C, равное 122 м<sup>3</sup>/час на одного человека, что близко к расходу воздуха, полученному расчетным путем для автобуса ДАЗ-697М. Таким образом, количество вентиляционного воздуха, необходимое для борьбы с теплоизбытками, является максимальным расчетным количеством воздуха для вентиляции салонов автобусов в летнее время.

### Глава III. Расчет естественной вентиляции автобусов под действием набегающего потока воздуха

На базе общего метода расчета аэрации под действием набегающего потока воздуха, разработанного советскими учеными /Батурин В.В., Камнев П.Н., Талиев В.Н., Реттер Э.И./, представляется возможным рассчитать вентиляцию салонов автобусов при данной форме кузова, скорости движения автобуса и наличии открытых вентиляционных проемов.

Аэродинамическая характеристика автобуса определяет силы, действующие на его внешнюю оболочку. Так как в салоне автобуса давление обычно отличается от атмосферного, то протекание воздуха через вентиляционные отверстия происходит в результате взаимодействия двух сил - внешней аэродинамической силы и силы, возникающей в результате избыточного внутреннего давления в салоне автобуса.

Разность давлений в салоне автобуса и атмосферного называется избыточным внутренним давлением со знаком плюс или минус. Задача определения этого избыточного давления является основной при расчете воздухообмена в салоне автобуса.

#### I. Аналитическое определение воздухообмена в салоне автобуса

Принимаем, что в салоне автобуса имеется три открытых вентиляционных проема, из которых один является приточным, а два других - вытяжными. При движении автобуса количество воздуха  $G$ , протекающее в единицу времени через эти отверстия определится из выражений:

$$G_1 = M_1 \cdot V_a \cdot \gamma_n \cdot f_1 \cdot \sqrt{K_1 - K_x} \quad - \text{приток}$$

$$G_2 = M_2 \cdot V_a \cdot \gamma_2 \cdot f_2 \cdot \sqrt{K_x - K_2} \quad - \text{вытяжка} \quad G_3 = M_3 \cdot V_a \cdot \gamma_3 \cdot f_3 \cdot \sqrt{K_x - K_3} \quad - \text{вытяжка}$$

где:  $M_1, M_2, M_3$  - коэффициенты расхода вентиляционных проемов;  
 $V_a$  - скорость движения автобуса в м/сек;  
 $\gamma_n, \gamma_2$  - удельные веса приточного и удаляемого воздуха кг/м<sup>3</sup>;

$f_1, f_2, f_3$  - площади открытых вентиляционных проемов в м<sup>2</sup>;

$K_1, K_2, K_3$  - аэродинамические коэффициенты вентиляционных проемов;

$K_x$  - внутренний аэродинамический коэффициент салона автобуса.

Уравнение неразрывности дает  $G_1 = G_2 + G_3$ , подставляя вместо  $G_1$ ,  $G_2$  и  $G_3$  их значения, и приняв условно, что  $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3$ , получим после сокращений:

$$M_1 \cdot f_1 \cdot \sqrt{K_1 - K_x} = M_2 \cdot f_2 \cdot \sqrt{K_x - K_2} + M_3 \cdot f_3 \cdot \sqrt{K_x - K_3}$$

Решение этого уравнения относительно  $K_x$  дает:

$$K_x = \frac{AB - 2(M_2 \cdot f_2)^2 \cdot (M_3 \cdot f_3)^2 (K_2 - K_3) + M_1 \cdot f_1 \cdot M_2 \cdot f_2 \cdot M_3 \cdot f_3 \cdot \sqrt{B}}{A^2 - 4(M_2 \cdot f_2)^2 (M_3 \cdot f_3)^2}$$

$$A = (M_1 \cdot f_1)^2 + (M_2 \cdot f_2)^2 + (M_3 \cdot f_3)^2$$

$$B = K_1 (M_1 \cdot f_1)^2 + K_2 (M_2 \cdot f_2)^2 + K_3 (M_3 \cdot f_3)^2$$

$$B = (K_1 - K_2)(K_1 - K_3)(M_1 \cdot f_1)^2 - (K_2 - K_3)(K_2 - K_1)(M_2 \cdot f_2)^2 - (K_3 - K_1)(K_3 - K_2)(M_3 \cdot f_3)^2$$

В этом выражении, кроме искомого  $K_x$ , неизвестными являются и коэффициенты расхода вентиляционных проемов  $M$ , значения которых, как показали исследования по их определению, зависят от  $K_x$ .

Сказанное подтверждается также работой В.А. Ханжонкова "Сопротивление истечению через отверстие в стенке в присутствии проходящего потока" / "Промышленная аэродинамика", № 19, М., 1959 /.

Сложность полученного выражения очевидна: Если для трех отверстий коэффициент  $K_x$  определяется столь сложно, то аналитическое решение поставленной задачи для большого количества вентиляционных проемов практически представляет значительные трудности и его необходимо заменить другими более эффективными способами. Одним из таких способов является экспериментальное определение внутреннего аэродинамического коэффициента  $K_x$  в полной модели автобуса при исследовании ее в аэродинамической трубе.

## 2. Расчет вентиляции салонов автобусов на основе результатов исследований полной модели в аэродинамической трубе

В работе приводятся результаты исследований сплошных моделей ав-



тобусов ЛАЗ-695Е, ЛАЗ-695М, проведенных с целью получения данных по распределению давлений на поверхности кузовов автобусов. Исследования проводились в аэродинамической трубе Львовского ордена Ленина политехнического института. Труба замкнутого типа, двухконтурная с рециркулирующим потоком воздуха и открытой цилиндрической рабочей частью / $\phi$  1000x1200 мм /. Масштаб моделей автобусов - 1:10 натуральной величины. Исследования проводились при скорости воздуха в трубе 20 м/сек. Число Рейнольдса при этой скорости, отнесенное к условной величине  $L$ , соответствующей  $L = \sqrt{F}$ , где  $F$  - площадь миделевого сечения модели, равно  $3,14 \times 10^5$ . Из аэродинамических исследований автомобилей известно, что при значениях числа Рейнольдса в пределах  $Re = 2 \times 10^5$  до  $7 \times 10^5$  имеет место автомоделная область.

Снятие давлений в исследуемых точках проводилось методом дренирования. Аэродинамические коэффициенты  $K$  при исследованиях определялись как отношение величин измеренных давлений к динамическому напору воздушного потока, измеренному до зоны возмущения, то есть:

$$K = \frac{P_x}{P}$$

где:  $P_x$  - давление воздушного потока в исследуемой точке в  $\text{кг/м}^2$ ;

$P$  - давление набегающего потока воздуха в  $\text{кг/м}^2$ ;

На рис. I представлены результаты исследований модели автобуса ЛАЗ-695М в плоскости форточек боковых окон при направлении воздушного потока под углом  $\alpha = 0^\circ$  - перпендикулярно лобовой поверхности модели, под углом  $\alpha = 15^\circ$  к левой боковине и углом  $\alpha' = 15^\circ$  к правой боковине модели.

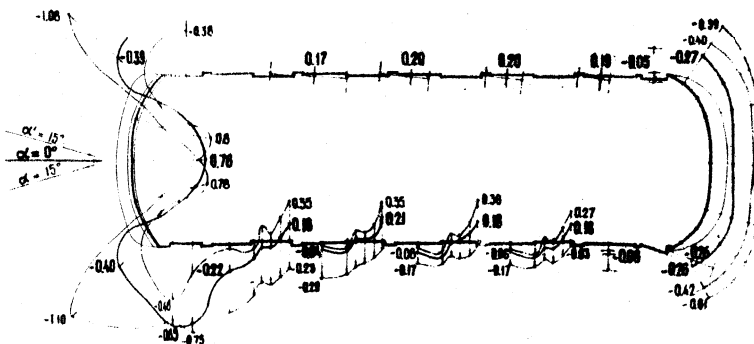


Рис. I. Распределение давлений на поверхности модели автобуса ЛАЗ-695М в плоскости форточек окон боковины.

На величину и знаки аэродинамических коэффициентов вентиляционных проемов влияют форма, длина кузова автобуса, место размещения вентиляционных проемов, наличие бокового ветра и, как показали дальнейшие исследования, очень существенное влияние оказывает положение / открыты или закрыты / и условия работы / приток или вытяжка / других вентиляционных проемов, находящихся впереди или сзади них. Поэтому результаты исследований сплошных моделей автобусов можно использовать только для получения предварительных данных по рациональному размещению вентиляционных проемов. Аэродинамические коэффициенты вентиляционных проемов необходимо определять на полой модели автобуса при исследовании ее в аэродинамической трубе.

С этой целью была выполнена полая модель автобуса ЛАЗ-695М с большой степенью приближения элементов кузова к натуре. Люки крыши, заборники воздуха и форточки окон - открывающиеся. В салоне моделировались сидения. Масштаб модели 1:10. Аэродинамические исследования проводились в аэродинамической трубе при направлении воздушного потока  $\alpha = 0^\circ$ ,  $\alpha = 15^\circ$  и  $\alpha' = 15^\circ$  и скорости набегающего на модель воздуха 17,5 м/сек, что соответствовало величине числа Рейнольдса, отнесенного к миделевому сечению модели автобуса  $Re = 2,74 \times 10^5$ . Определение давления от набегающего воздушного потока на открытый вентиляционный проем производилось с помощью камеры статического давления, установленной внутри модели. Результаты экспериментов сведены в таблицу 2.

Как видно из таблицы, величина и знаки аэродинамических коэффициентов в значительной степени изменяются в зависимости от положения / открыты или закрыты / других вентиляционных проемов.

Определение внутренних аэродинамических коэффициентов  $K_x$  при различных положениях вентиляционных проемов, то есть по определенным схемам / вариантам / организации естественной или совмещенной вентиляции, производилось так же на полой модели при исследовании в аэродинамической трубе. Внутреннее давление определялось в передней и задней части модели автобуса. Герметичность модели автобуса была доведена до герметичности натурального образца путем поддержания в них одинакового давления при подаче относительно равновеликих количеств воздуха / масштаб 1:100 / механическими системами вентиляции. Результаты исследований сведены в таблицу 3.

Таблица 2

№ пп	Наименование вентиляционного проема и условия работы	Аэродинамический коэффициент К		
		$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 15^\circ$	$\alpha' = 15^\circ$
1	Открыты форточки боковин. Остальные вентиляционные проемы закрыты. Форточки окон левой боковины: 0-1	-0.010	+0.065	-0.172
	0-2	+0.020	+0.078	-0.152
	0-3	+0.004	+0.047	-0.170
	0-4	+0.004	+0.056	-0.200
	Открыты форточки окон боковин, окно водителя и люки крыши Л-2, Л-3, Л-4. Остальные вентиляционные проемы закрыты. 0-1	-0.270	+0.006	-0.310
	0-2	-0.06	+0.064	-0.168
	0-3	-0.028	+0.043	-0.165
	0-4	-0.040	+0.035	-0.194
2	Окно водителя	-0.635	-0.313	-0.730
3	Задняя форточка левой боковины	-0,265	-0,313	-0.431
4	Люки крыши:			
	Л-1 в положении на вытяжку / Л-2 - открыт /	-0.392	-0.530	
	Л-1 в положении на приток / Л-2 - открыт /	+0.427	+0.400	
	Л-2 / Л-1 открыт в положен. на вытяжку /	-0.157	+0.236	
	Л-2 / Л-1 открыт в положен. на приток /	+0.270	+0.286	
	Л-2 / Л-1 закрыт /	+0.314	+0.316	
	Л-3 / Л-1 и Л-2 открыты в полож. на приток /	+0.348	+0.230	
	Л-3 / Л-1 и Л-2 закрыты /	+0.25	+0.24	
	Л-4 / Л-1 - Л-3 открыты в полож. на приток /	+0.316	+0.182	
	Л-4 / Л-1, Л-2, Л-3 закрыты /	+0.264	+0.252	
Л-5 в положении на вытяжку / Л-3, Л-4 открыт /	-0.650	-0.752		
Л-5 в положен. на вытяжку / Л-3, Л-4 закрыт /	-0.625	-0.730		
5	Приток воздуха под лобовым стеклом	+0.862	+0.750	
6	Лобовой поток воздуха	+0.800	+0.700	

Таблица 3

№ варианта	Ветляющие проемы и их положение											Внутренние аэродинамические коэффициенты $K_x$ в передней "П" и задней "З" части салона автобуса												
	Форточка левая оконная	Форточка правая оконная	Задние форточки	Л-1 на вытяжку	Л-1 на приток	Л-2 на приток	Л-3 на приток	Л-4 на приток	Л-5 на приток	Л-5 на вытяжку	Окно двери водителя	Окно двери пассажира	Лобовой при-ток воздуха	Нижний при-ток воздуха	$\alpha = 0^\circ$			$\alpha = 15^\circ$			$\alpha = 15^\circ$			
	К <sub>лп</sub>	К <sub>кз</sub>	К <sub>лп</sub>	К <sub>кз</sub>	К <sub>лп</sub>	К <sub>кз</sub>	К <sub>лп</sub>	К <sub>кз</sub>	К <sub>лп</sub>	К <sub>кз</sub>	К <sub>лп</sub>	К <sub>кз</sub>	К <sub>лп</sub>	К <sub>кз</sub>	К <sub>лп</sub>	К <sub>кз</sub>	К <sub>лп</sub>	К <sub>кз</sub>	К <sub>лп</sub>	К <sub>кз</sub>	К <sub>лп</sub>	К <sub>кз</sub>		
1															-0,154	-0,154	-0,21	-0,21	-0,21	-0,21	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50
2										0					-0,41	-0,41	-0,23	-0,23	-0,23	-0,23	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50
3										0					-0,23	-0,23	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,85	-0,85	-0,95	-0,95
4			0	0	0	0	0	0	0	0					-0,12	-0,115	-0,07	-0,066	-0,14	-0,14	-0,13	-0,13	-0,13	-0,13
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					-0,06	-0,057	-0,04	-0,038	-0,11	-0,11	-0,105	-0,105	-0,105	-0,105
6	0	0	0							0					-0,12	-0,115	-0,154	-0,163	-0,146	-0,146	-0,143	-0,143	-0,143	-0,143
7	0	0	0							0					+0,05	+0,052	-0,009	-0,008	+0,06	+0,06	+0,063	+0,063	+0,063	+0,063
8	0	0	0							0					+0,18	+0,187	+0,11	+0,115	+0,09	+0,09	+0,094	+0,094	+0,094	+0,094
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					+0,24	+0,25	+0,15	+0,16	+0,16	+0,16	+0,16	+0,16	+0,16	+0,16
Проектные варианты																								
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					+0,09	+0,094	+0,05	+0,053	+0,01	+0,01	+0,011	+0,011	+0,011	+0,011
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					+0,13	+0,135	+0,06	+0,064	+0,046	+0,046	+0,048	+0,048	+0,048	+0,048
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					+0,094	+0,098	+0,074	+0,079	+0,018	+0,018	+0,018	+0,018	+0,018	+0,018
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					+0,25	+0,26	+0,17	+0,175						
14	0	0								0					+0,03	+0,03	-0,07	-0,073						
15	0	0								0					-0,03	-0,03	-0,14	-0,145						

□ открытый вентиляционный проем.

○ открытый лок крыша с поддоном.

Предпочтительными вариантами естественной вентиляции являются те, которые имеют положительные внутренние аэродинамические коэффициенты  $K_x$ , то есть положительное избыточное давление, препятствующее проникновению пыли в салон через щели задних дверей, моторного отсека и пола. Нормирование избыточного давления в салонах автобусов необходимо вести по величине внутреннего аэродинамического коэффициента  $K_x$ , а не по абсолютной величине  $P_x$ , так как давление в салоне зависит от  $K_x$  и от скорости движения автобуса  $V_a$ .

Для определения производительности вентиляционного проема, кроме разности давления перед проемом и за ним, необходимо знать коэффициент расхода  $\mu$ .

Коэффициенты расхода вентиляционных проемов  $\mu$  определялись на полной модели автобуса ЛАЗ-695М в аэродинамической трубе при направлении воздушного потока  $\alpha = 0^\circ$ ,  $\alpha = 15^\circ$  и  $\alpha' = 15^\circ$  и скорости набегающего на модель воздуха 15 - 22 м/сек. Схема установки для определения коэффициентов расхода вентиляционных проемов, работающих на приток, приведена на рис.2.

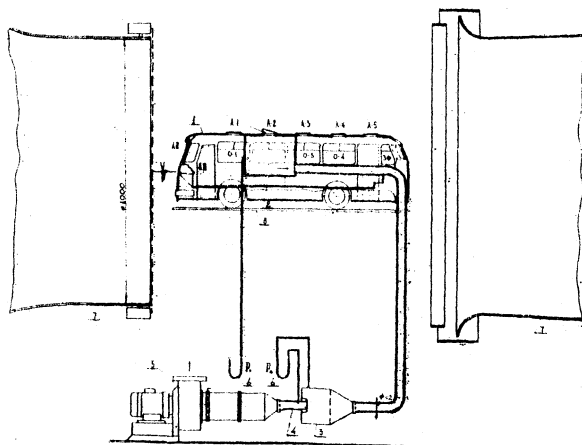


Рис.2. Схема установки для определения коэффициентов расхода вентиляционных проемов автобуса ЛАЗ-695М. 1. Модель автобуса. 2. Камера статического давления. 3. Камера давления. 4. Коллектор. 5. Центробежный вентилятор. 6. Микроманометры. 7. Аэродинамическая труба. 8. Плоский щит.

Коэффициенты расхода вентиляционных проемов автобуса ЛАЗ-695М приводятся на графиках в виде кривых. На рис.3 приведены коэффициенты расхода для трех люков крыши.

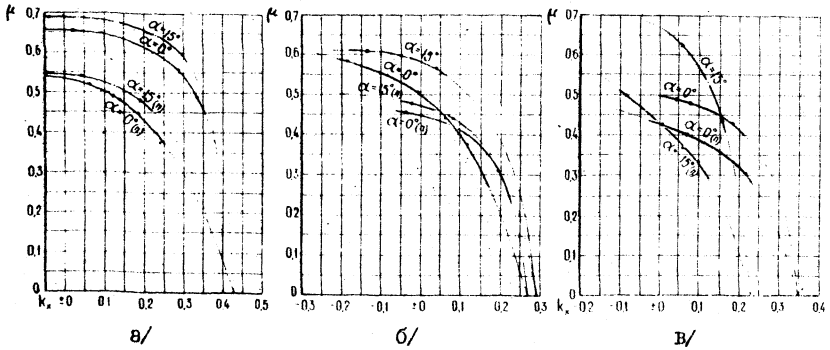


Рис.3. а/ Первый люк в положении на приток; приток / II-люк с поддоном / ;

б/ второй люк в положении на приток / первый люк в положении на приток открыт / , приток;

в/ третий люк в положении на приток / первый и второй люки в положении на приток открыты / , приток.

При отсутствии набегающего воздушного потока на модель автобуса для люка крыши без поддона  $M = 0,62$ .

По полученным аэродинамическим коэффициентам вентиляционных проемов, внутренним аэродинамическим коэффициентам, в зависимости от положения вентиляционных проемов, и коэффициентом расхода вентиляционных проемов - произведен расчет воздухообмена в модели автобуса.

Результаты расчета воздухообмена при скорости набегающего потока воздуха II,1 м/сек при  $\alpha = 0^\circ$  приведены в таблице 4.

Таблица 4

Организованный воздухообмен в модели автобуса в кг/час											приток вытяжка		
Естественная вентиляция											Совмещенная вентиляция		
Организация воздухообмена по варианту №													
2	3	4	5	8	9	10	11	12	13	15	5 *	13	15
-	5,6	52,2	67,6	58,3	38,2	79,2	69,5	69,0	39,7	21,4	x	xx	xxx
9,1	20,2	52,3	72,1	50,3	14,6	70,6	55,6	63,0	33,3	20,2	44,0	40,0	34,5

\*. За исключением I-го люка крыши. x. в том числе: механический  
 xx. приток 32,0 м³/час  
 xxx. приток 30,7 м³/час

При  $\alpha = 15^{\circ}$  и  $\alpha' = 15^{\circ}$  / имитация бокового ветра / производительность естественной вентиляции в основном увеличивается или остается такой же, как при  $\alpha = 0^{\circ}$ . Дисбаланс между притоком и вытяжкой в большей или меньшей степени объясняется наличием инфильтрации, производительность которой зависит от внутреннего избыточного давления, то есть от количества и типа открытых вентиляционных проемов.

Из таблицы видно, что при совместном действии естественной и механической систем вентиляции общее количество вентиляционного воздуха не равно сумме количества воздуха, которое могла бы давать каждая вентиляционная система в отдельности. Уменьшение суммарного количества воздуха вызвано повышением давления внутри салона автобуса при работе механической системы вентиляции.

Из всех рассмотренных вариантов организации воздухообмена практический интерес представляют варианты, в которых величины воздухообменов близки к максимальным с поддержанием в салоне избыточного давления. Этому требованию удовлетворяют воздухообмены по проектным вариантам № 10-12. Для организации рассредоточенной подачи воздуха через люки крыши, необходимо устанавливать поддоны люков с раздечей основной массы воздуха по сторонам.

Действительные воздухообмены в салоне автобуса ЛАЗ-695М с учетом масштабного фактора будут соответствовать воздухообменам в модели, увеличенным в 45 раз при скорости движения автобуса  $V_a = 18$  км/час, в 62,5 раза - при  $V_a = 25$  км/час, в 100 раз - при  $V_a = 40$  км/час и в 175 раз - при  $V_a = 70$  км/час.

В работе приведены также результаты аэродинамических исследований полной модели автобуса ЛиАЗ-677. Эти исследования выполнялись аэродинамически, как и для полной модели автобуса ЛАЗ-695М.

Автобус ЛиАЗ-677 отличается от автобуса ЛАЗ-695М следующим: автобус ЛиАЗ длиннее ЛАЗ на 1,5 м, менее обтекаемый, т.е. имеет почти прямоугольную форму; моторный отсек размещен в передней части кузова; кабина водителя отгорожена от салона автобуса и сообщается с ним сдвижной форточкой.

Форточки окон при любом положении других вентиляционных проемов при  $\alpha = 0^{\circ}$  и  $\alpha = 15^{\circ}$  имеют отрицательные аэродинамические коэффициенты, в то время как в модели ЛАЗ этого не наблюдалось. На первую форточку уже почти не влияет окно водителя при сообщении его с салоном. Аэродинамические коэффициенты люков крыши меньше, чем в автобусе ЛАЗ. Первый люк в положении на приток имеет  $K = +0,02$ , а на вы-

тяжку  $K = -0,2$ , в то время как в автобусе ЛАЗ соответственно  $K = +0,42$  и  $K = -0,39$ . В связи с этим первый люк необходимо ставить только на вытяжку / для эффективного использования его /, а не на приток, в то время как в автобусе ЛАЗ этот люк нужно ставить только на приток. Отсюда можно сделать вывод, что на величину и знаки аэродинамических коэффициентов вентиляционных проемов в первую очередь влияет форма и длина кузова автобуса, а также место расположения вентиляционных проемов.

Характер изменения коэффициентов  $M$  в зависимости от  $K_x$  аналогичен, как и для автобуса ЛАЗ.

На основании проведенных аэродинамических исследований полых моделей автобусов ЛАЗ-69 и ЛиАЗ-677 можно сделать вывод, что расчет воздухообмена для каждого типа автобуса необходимо производить на основании исследований его полной модели в аэродинамической трубе.

### 3. Способы организации воздухообмена в салонах автобусов

Вентиляция салонов автобусов может быть естественной, механической и совмещенной.

Рациональной схемой организации воздухообмена в салонах автобусов является совмещенная вентиляция, при которой на стоянке и малых скоростях движения автобусов могут работать механическая и естественная системы вентиляции, а на больших скоростях движения автобусов - естественная вентиляция.

Для автобусов с задним расположением двигателя и открытой кабиной водителя, одним из путей увеличения воздухообмена в салоне может явиться сосредоточенный приток в передней части кузова с забором наружного воздуха над лобовым стеклом или под ним. Забор наружного воздуха под лобовым стеклом применяется в ряде зарубежных автобусов для обдува лобовых стекол и для подачи наружного воздуха в салон.

На экспериментальном автобусе ЛАЗ-699А была выполнена сосредоточенная подача воздуха из лобовой поверхности вдоль салона. В лобовом воздухозаборнике устанавливались два диаметральных вентилятора с рабочими колесами диаметром 100 мм, длиной 360 мм, электромоторами мощностью по 65 Вт, и общей производительностью 1530 м<sup>3</sup>/час. При скорости движения автобуса 60 км/час производительность вентиляторов увеличивалась на 50%.

Вентиляция с сосредоточенной подачей перспективна для примене-



ния и оригинальна в сочетании с диаметрными вентиляторами, над технологией промышленного изготовления которых в настоящее время ведутся работы ГСКБ по автобусам совместно с ЦАГИ.

#### Глава IV. Натурные исследования

##### I. Определение внутреннего давления в салоне автобуса

Эти исследования проводились с целью определения внутреннего давления  $P_x$  в салоне автобуса ЛАЗ-695М в зависимости от схемы организации воздухообмена и скорости движения автобуса. Результаты исследований для двух вариантов организации воздухообмена сведены в таблицу 5.

Таблица 5

$V_a$ км/час	$\rho$ кг/м <sup>2</sup>	Организация воздухообмена по варианту № при $\alpha = 0^0$			
		1 ( $K_x = -0,154$ )		2 ( $K_x = -0,41$ )	
		давление в салоне $P_x$ кг/м <sup>2</sup>		давление в салоне $P_x$ кг/м <sup>2</sup>	
		расчетное	эксперимент.	расчетное	эксперимент.
50	11,6	-1,78	-1,5 ÷ -2,5	-4,75	-4 ÷ -5
65	20,0	-3,07	-2,5 ÷ -3,5	-8,2	-8 ÷ -9

Как видно из таблицы, внутреннее давление в салоне автобуса близко к расчетному, подсчитанному по коэффициентам внутреннего давления  $K_x$ , которые были найдены для полной модели.

##### 2. Влияние схемы организации воздухообмена в салоне автобуса на его запыленность

Эти исследования проводились с целью определения только содержания пыли в воздухе салона автобуса ЛАЗ-695М в зависимости от схемы организации воздухообмена под действием набегавшего потока воздуха. Пробы воздуха взяты в шести точках на высоте около 1 м от пола. При организации воздухообмена по варианту № 2 / см. таблицу 3 / было получено максимальное содержание пыли в воздухе салона автобуса, равное 27,6 мг/м<sup>3</sup>. Если в этом же варианте герметизировать щели задней двери, то пылесодержание воздуха падает на 60%. Соответственно зад-

няя дверь, вернее ее негерметичность, является одним из основных источников поступления пыли в салон при отрицательном внутреннем избыточном давлении. При работе на приток только третьего и четвертого люков крыши с выходом воздуха из салона через неплотности кузова автобуса содержание пыли в воздухе салона составляло  $3,9 \text{ кг/м}^3$ , что в 3,5 раза меньше, чем при дополнительно открытом еще окне водителя, работающем на вытяжку.

При совместной работе всех люков крыши и окна водителя - исследуемый вариант № 10, - содержание пыли в воздухе салона составляло  $3,7 \text{ кг/м}^3$ , что на 55% меньше, чем при дополнительно открытых еще и форточках боковых окон / вариант № 5 /. Таким образом, содержание пыли в воздухе салона автобуса зависит от схемы организации воздухообмена, т.е. от внутреннего избыточного давления.

### 3. Определение производительности вентиляционных проемов автобусов

При натурных исследованиях воздухообмена в салоне автобуса ЛАЗ-695М удалось установить в основном только соответствие работы / на приток или вытяжку / вентиляционных проемов по сравнению с экспериментальными исследованиями на полной модели автобуса. Для люков крыши, окна водителя, задних поворотных форточек это соответствие четко наблюдается уже при скорости движения автобуса 15-20 км/ч. Эти вентиляционные проемы имеют относительно большие положительные или отрицательные аэродинамические коэффициенты  $K$ , с незначительным изменением их по величине при наличии бокового ветра.

Для форточек боковых окон соответствие экспериментальных и натурных исследований наблюдается при скорости движения автобуса уже около 60 км/час, и то на прямых участках дороги при наличии незначительного бокового ветра.

Воздухопроизводительность люков крыши автобуса, измеренная в натурных условиях, очень близка к расчетной. При установке поддонов в люках с раздачей воздуха по сторонам производительность их падает на 25%.

Сложным и в настоящее время еще нерешенным вопросом является определение производительности форточек окон в натурных условиях. Обуславливается это следующими причинами:

1. Изменением величины и направления воздушного потока в каждой точке открытой форточки окна.

2. Отсутствием измерительных приборов, которые были бы нечувствительными к тряске / измерения анемометрами длительны и очень неточны в этих условиях /.

3. Отсутствием электроанемометров со шкалой примерно до 20 м/сек, что не позволяет проводить натурные исследования при скорости движения автобуса около 70 км/час, когда влияние бокового ветра практически сводится к нулю.

В результате проведенных натуральных наблюдений и исследований направления и величины воздушного потока в форточках боковых окон автобусов ДАЗ / произведено всего около 2000 замеров угломером с фотографированием задымленного воздушного потока, и измерений скоростей электроанемометрами и анемометрами в десяти точках каждой форточки/, можно сделать вывод, что измерение с достаточной точностью производительности форточек боковых окон в натуральных условиях в настоящее время практически неосуществимо.

Таким образом, производительность вентиляционных приемов автобуса следует принимать равной расчетной по результатам исследований полной модели в аэродинамической трубе.

#### 4. Исследование эффективности естественной вентиляции салона автобуса ДАЗ-695М

Эти исследования проводились на экспериментальном автобусе ДАЗ-695М / с теплоизоляцией крыши и боковин / по городскому маршруту. Скорость движения автобуса по маршруту составляла в среднем 28 км/час.

Результаты исследований сведены в таблицу 6.

Измерение температуры проводилось шестью электрическими датчиками под потолком автобуса и двумя датчиками - над полом. Измерения солнечной радиации проводилось пиранометром. Как видно из таблиц, при организации воздухообмена по схемам № 1, 2, 3, средней суммарной солнечной радиации 0,65-0,76 кал/см<sup>2</sup>мин и пассажирозагрузке близкой к номинальной перепад температур между средней температурой в салоне автобуса и наружной составляет в среднем 4°С.

При организации воздухообмена по схеме № 4, аналогичной расчетному варианту № 12, с воздухопроизводительностью 3300 м<sup>3</sup>/час при  $V_a = 28$  км/час, перепад температур составляет 3,1°С. При этой же схеме организации воздухообмена / № 5 /, но при суммарной солнечной радиа-

ция  $0,97 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$  и пассажирозагрузке автобуса выше номинальной, перепад температур составляет уже  $6,5^\circ\text{C}$ .

Таблица 6

№ пп	Скорость движения автобуса км/час	Количество пассажиров	Климатические условия. Солнечная радиация $q \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$	Открытые вентиляционные проемы /люки крыши с поддонами; остальные вентиляционные проемы закрыты /	Температура		Разность температур $\Delta t = t_{cp} - t_n$
					воздуха в салоне $t_{cp} \text{ }^\circ\text{C}$	наружного воздуха $t_n \text{ }^\circ\text{C}$	
1	0-40	40-50	облачно $q_{\text{сум}} = 0,65$	Л-1, Л-2, Л-3, Л-4, З.Ф., О.В.	26,9	23	3,9
2	0-40	40-60	облачно $q_{\text{сум}} = 0,65$	Л-1, Л-2, Л-3, Л-4, З.Ф., О.В.	28,5	24	4,5
3	0-40	50-60	солнечно $q_{\text{сум}} = 0,76$	Л-1, Л-2, Л-3, Л-4, З.Ф., О.В.	27,5	23,5	4,0
4	0-40	50-60	Солнечно $q_{\text{сум}} = 0,76$	Л-1, Л-2, Л-3, Л-4, Л-5, З.Ф., О.В.	26,6	23,5	3,1
5	0-40	65-70	яркое солнце безоблачно $q_{\text{сум}} = 0,97$	Л-1, Л-2, Л-3, Л-4, Л-5, З.Ф., О.В.	27	20,5	6,5

Если для этого же варианта организации воздухообмена с производительностью вентиляции  $3300 \text{ м}^3/\text{час}$  / № 5 / подсчитать аналитически общие теплоступления в салон, то перепад температур воздуха в салоне будет составлять  $6,8^\circ\text{C}$ .

Сравнивая перепад температур между внутренним воздухом в салоне автобуса и наружным при натурных исследованиях с расчетным, можно сделать вывод, что подсчитанные аналитическим путем общие теплоступления в салон автобуса, а также необходимое количество воздуха для вентиляции при перепаде температур  $4^\circ\text{C}$  близки к истинным. Таким образом, эффективность естественной вентиляции салонов автобусов в натурных условиях следует оценивать не по ее производительности / которую при открытых форточках окон боковин с достаточной точностью определить нельзя /, а по перепаду температур между внутренним воздухом в салоне автобуса и наружным / при наружных температурах близких к расчетным для проектирования общеобменной вентиляции на летний период /.

Натурные исследования проводились совместно с лабораторией кузовов ИСКБ по автобусам.

#### Выводы и рекомендации

1. На основании проведенных исследований установлено, что для улучшения микроклимата салонов отечественных автобусов, определение количества воздуха для вентиляции необходимо вести не из расчета 20-кратного воздухообмена в час, как принято в настоящее время, а по ассимиляции теплоизбытков, как основной вредности в летний период; на зимний период - по углекислоте.

2. До установления нормативов микроклимата в салонах автобусов рекомендуется принять на летний период перепад между температурой внутреннего и наружного воздуха  $3-5^{\circ}\text{C}$  / для географических широт  $40-60^{\circ}$  / при расчетной наружной температуре до  $+28^{\circ}\text{C}$ . Для автобусов, эксплуатируемых в районах с расчетной температурой выше  $28^{\circ}\text{C}$  / Туркменская ССР, Таджикская ССР и др./ эффективнее применять установки частичного, а для туристских автобусов - полного кондиционирования воздуха.

3. На основании расчетных и экспериментальных данных определены расходы воздуха для вентиляции салонов автобусов ЛАЗ-695М и ЛАЗ-697М. Так, на летний период для автобусов ЛАЗ-695М без теплоизоляции кузова при номинальной пассажирозагрузке 62 человека, количество вентиляционного воздуха на одного пассажира составляет  $86 \text{ м}^3/\text{час}$  / 153-кратный воздухообмен /, а при теплоизоляции кузова и зашторивании окон -  $68 \text{ м}^3/\text{час}$  / 120-кратный воздухообмен /; для автобусов ЛАЗ-697М при номинальной пассажирозагрузке 32 человека соответственно  $125 \text{ м}^3/\text{час}$  / 114-кратный воздухообмен / и  $83 \text{ м}^3/\text{час}$  / 83-кратный воздухообмен /.

4. Теплоизоляция кузова и зашторивание окон / или установка термальных стекол / уменьшает количество радиационного тепла, падающего на пассажиров, примерно в два раза, улучшая этим микроклимат в салоне.

5. Теоретический анализ и экспериментальные исследования автобусов ЛАЗ-695 и ЛиАЗ-677 показали, что аналитический расчет воздухообмена в салонах автобусов под действием набегавшего потока воздуха крайне затруднителен.

6. Практически приемлемым методом определения воздухообмена в салонах автобусов под действием набегавшего потока воздуха является

ся метод расчета, который основан на результатах исследований полых моделей автобусов в аэродинамической трубе.

7. В результате проведенных исследований полых моделей автобусов ЛАЗ-695М и ЛиАЗ-677 в аэродинамической трубе определены:

- а/ аэродинамические коэффициенты вентиляционных проемов;
- б/ аэродинамические коэффициенты в салонах автобусов в зависимости от схем организаций воздухообмена;
- в/ коэффициенты расхода вентиляционных проемов.

По этим данным представляется возможность рассчитать необходимый воздухообмен под действием набегающего потока воздуха в салонах автобусов в зависимости от их назначения с поддержанием внутреннего положительного избыточного давления.

8. Установлено, что результаты исследований сплошных моделей автобусов можно использовать для получения только предварительных данных по рациональному размещению вентиляционных проемов и других приемников воздуха.

9. Натурные исследования показали, что содержание пыли в воздухе салона автобуса зависит от схемы организации воздухообмена, то есть от внутреннего избыточного давления, нормирование которого необходимо вести по величине положительного внутреннего аэродинамического коэффициента, а не по абсолютной величине давления.

10. На основании натурных исследований вентиляции салона автобуса ЛАЗ-695М установлено, что определенные аналитическим путем общие теплопоступления в салон автобуса и необходимое количество воздуха для ассимиляции их при перепаде температуры между внутренним и наружным воздухом  $4^{\circ}\text{C}$  близки к истинным.

11. Эффективность естественной вентиляции салонов автобусов в натурных условиях следует оценивать не по ее производительности / которую при открытых форточках окон боковин нельзя определить с достаточной точностью /, а по перепаду температуры между внутренним воздухом в салоне автобуса и наружным / при наружных температурах близких к расчетным для проектирования вентиляции на летний период /.

12. Результаты исследований использованы при конструировании экспериментальных моделей автобусов ЛАЗ-695М и ЛиАЗ-677, а также успешно внедрены в серийных автобусах ЛАЗ-695М.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Чернин Л.Б., Иванушъ Е.М., Гнипович В.И., Дмитриев В.И. "Исследования по вентиляции автобусов и других видов городского транспорта" в книге "Энергоснабжение и кондиционирование воздуха на транспорте", изд. Зинатне, Рига, 1965.

2. Иванушъ Е.М. "Научная конференция по вентиляции автобусов", "Автомобильная промышленность", № 7, М., 1968.

3. Чернин Л.Б., Иванушъ Е.М., Гнипович В.И., Лившиц Г.Ш. "Экспериментальные исследования по вентиляции салонов автобусов", "Автомобильная промышленность", № 8, М., 1969.

4. Атоян К.М., Гнипович В.И., Иванушъ Е.М. "Об основах расчета воздухообмена в салонах пассажирских автомобилей". Сб. статей "Труды ГСКБ по автобусам", вып. I, Львов, 1969.

5. Атоян К.М., Гнипович В.И., Иванушъ Е.М. "Вентиляция автобусов", материалы семинара "Научные разработки - городскому пассажирскому транспорту", М., 1969.

6. Атоян К.М., Гнипович В.И., Иванушъ Е.М. "Аэродинамические исследования при изучении вопросов вентиляции автобусов". Сб. статей "Труды ГСКБ по автобусам", вып. 2, Львов, 1970.

7. Атоян К.М., Иванушъ Е.М., Гнипович В.И. "Расчет вентиляции автобусов на основе результатов исследований полой модели в аэродинамической трубе". Сб. статей "Труды ГСКБ по автобусам", Львов, 1970.

8. Иванушъ Е.М. "Определение коэффициентов расхода вентиляционных проемов автобуса ЛАЗ-695М". Сб. статей "Труды ГСКБ по автобусам", Львов, 1970.

9. Иванушъ Е.М. и др. Авторское свидетельство № 241243 на изобретение "Устройство для вентиляции салона кузова транспортного средства". Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Союза ССР 22 января 1969 г.

Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

1. Научно-технической конференции "Теплогасоснабжение и вентиляция", Киев, 1964.
2. 10 координационном совещании по промышленной вентиляции. Тбилиси, 1966 г.
3. XXI, XXIV, XXV, XXVI, XXVII научно-технических конференциях Львовского политехнического института. Львов, 1964, 1967, 1968, 1969, 1970 гг.