

В. И. ПРИХОДЬКО, О. А. ШКАБРОВ, В. И. КОЛЯДЕНКО, Г. С. ИГНАТОВ,
В. А. СОЛДАТОВ (ОАО «Крюковский вагоностроительный завод»)

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ УСТАНОВОК КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Проаналізовані переваги і недоліки основних конструкцій установок кондиціонування повітря. Запропоновані шляхи їх вдосконалення.

Проанализированы преимущества и недостатки основных конструкций установок кондиционирования воздуха. Предложены пути их совершенствования.

In article advantages and lacks of the basic designs of installations of an air conditioning are analysed. Ways of their perfection are offered.

Основные компоновочные схемы и конструктивные исполнения установок кондиционирования воздуха (УКВ) пассажирских вагонов общеизвестны и достаточно подробно изложены в специальной литературе [1] и проспектах вагоностроительных фирм. Для современных пассажирских вагонов, эксплуатируемых на дорогах СНГ, наиболее типична верхняя подкрышная компоновка УКВ с автономным, моноблочной конструкции, кондиционером и воздухопроводом, размещенными в надпотолочном пространстве вагона.

Для типовых конструкций УКВ характерны выполнение блока кондиционера с выступающей над крышей вагона частью, содержащей двухсторонние воздухозаборные окна воздуха конденсаторного обдува и наддверно-тамбурная компоновка воздухозаборных окон приточного воздуха.

Для уменьшения вибрации, передаваемой в корпус вагона работающим кондиционером, приемные окна и воздухозаборные устройства соединяются между собой патрубками, выполненными из тканевого материала.

Все УКВ имеют машинную систему охлаждения с паровой компрессионной холодильной машиной с роторным спиральным компрессорным агрегатом, в рабочем цикле которой температура рабочего тела (фреона) понижается методом дросселирования.

Вагонная сеть пассажирских вагонов (рис. 1) содержит линию всасывания с контурами наружного и рециркуляционного воздуха с воздухоприемными устройствами (на схеме воздухоприемные устройства наружного и рециркуляционного воздуха условно введены в состав контуров наружного и рециркуляционного воздуха), линию нагнетания с устройствами транспортирования и раздачи воздуха в пассажирско-служебные и туалетные помещения (на схеме эти устройства условно введены в состав контура нагнетания).

Для конструкций приточного воздуховода характерно их многосекционное исполнение из

закрытых секций, имеющих в поперечном сечении коробчатую форму, стенки которых в верхней части уплотнены специальным уплотнительным устройством, а боковые и нижние стенки уплотнены эластичным материалом и стянуты гаечно-болтовым соединением.

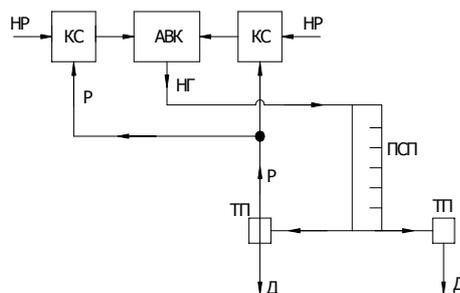


Рис. 1. Схема вагонной сети с контуром рециркуляции пассажирского вагона:

АВК – автономный кондиционер; КС – камера смешивания; НР – контур наружного воздуха; Р – контур рециркуляционного воздуха; НГ – контур нагнетания; Д – вытяжной контур; ПСП – пассажирские и служебные помещения; ТП – туалетные помещения

Для снижения шума, порождаемого вибрацией, приточный воздухопровод снаружи покрывается звукоизоляционными мастиками или оклеен войлочными плитами, а вентиляционный агрегат установлен на амортизаторах и снабжен гибкими патрубками.

Примером такой компоновки УКВ, ставшей классической, могут служить модели пассажирских вагонов фирм Германии, Российской Федерации, Польши и др.

Компоновочная схема и конструкция УКВ пассажирского вагона модели 61-779, постройки ОАО «КВСЗ» – в основном сходна или близка к вышеописанной типовой компоновочной схеме и конструкции.

В таблице приведены основные технические характеристики пассажирских вагонов базовой модели 61-779, серийно выпускаемой ОАО «КВСЗ» и опытной модели 61-788.

Основные технические характеристики пассажирских вагонов

Параметры	Модель 61-779	Модель 61-788
Характеристики вагона:		
Тип	Вагон поезда дальнего следования	
Класс	Вагон 2 класса	Вагон 2 класса комбинированный
Конструкционная скорость, км/ч	160	160
Вместимость, чел.	42	68
Уровень звукового давления в вагоне, дБА, не более	65	63
Характеристики УКВ:		
Тип системы кондиционирования	С полным кондиционированием воздуха	
Тип конструкции кондиционера	Моноблочный	
Тип системы охлаждения	С паровой компрессорной холодильной машиной	
Тип системы отопления	Автономная при температуре окружающей среды $t_o > -10^\circ\text{C}$ и совместная с котловой системой отопления при $t_o \leq -10^\circ\text{C}$	
Компоновочная схема	С верхним надпотолочным расположением	
Габариты кондиционера, мм:		
– длина	2270	1700
– ширина	1568	2160
– высота	977	740
Мощность потребляемая кондиционером, кВт не более	16,8	18,36
Масса кондиционера, кг	740	700
Холодильный агрегат	Хладоген 22 ГОСТ 8502	
Производительность, кВт:		
По холоду (при расчетных параметрах – температуре воздуха на входе в воздухоохладитель 27°C , температуре на входе в конденсатор холодильной машины 35°C , относительной влажности 55 %)	30	33
По теплу (при расчетных параметрах – температуре воздуха на входе в воздухонагреватель 8°C , температуре воды на входе в воздухонагреватель 80°C)		
– электронагрев	6	6
– водонагрев	25	25
Расход приточного воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$	5000	5500
в том числе: – наружного воздуха	1050	1500
– рециркуляционного воздуха	3950	4000
Степень очистки воздуха	0,95	0,95
Полный напор вентиляторного агрегата кондиционера в его рабочей точке, Па	620	–
Энергозатраты на электропривод, кВт:		
Компрессоров холодильной машины	$2 \times 5,23$	$2 \times 6,6$
Вентилятора приточного воздуха	3,0	2,2
Вентилятора обдува конденсаторов	1,9	2
Заслонки наружного воздуха	$2 \times 0,002$	$2 \times 0,01$
Пожарной заслонки	–	0,05
Рециркуляционной заслонки	–	0,05
Алгоритм управления УКВ:		
Режим охлаждения	При температуре воздуха в вагоне $t_b > 24^\circ\text{C}$	
Режим вентиляции	$16^\circ\text{C} < t_b \leq 24^\circ\text{C}$	
Режим отопления: – автономный	$5^\circ\text{C} < t_b \leq 16^\circ\text{C}$	
– совместный с котловым отопителем	$t_b \leq 5^\circ\text{C}$	
Перепад между температурами в вагоне и окружающей среды, $^\circ\text{C}$, не более	12	12

Типовая конструкция УКВ, приточный воздуховод которой выполнен со специальным уплотнительным устройством в верхней части, примыкающей к внутренней поверхности крыши вагона, сложна в изготовлении, поскольку требует высокой точности исполнения верхнего уплотнительного устройства, и неудобна при монтаже на вагоне.

Свое развитие в направлении снижения металлоемкости и требований к точности изготовления приточного воздуховода, выполнения процесса монтажа воздуховода на вагоне более простым и менее трудоемким, улучшения акустических характеристик конструкция УКВ нашла в серийно выпускаемых вагонах модели 61-779, его модификациях и на вагоне второго поколения – модели 61-788.

Воздуховод в поперечном сечении на вагоне модели 61-779 (рис. 2) имеет эллиптическую форму и состоит из двух частей – верхней 1 и нижней 5. Верхняя часть 1 прикреплена к продольным деревянным балкам 2, являющимися составной каркаса 3 крыши вагона, в ячейки которого уложены теплоизоляционные маты 4. Верхняя часть 1 приточного воздуховода цельная и играет роль внутренней обшивки крыши вагона, прикрывающей маты 4. Нижняя часть 5 в продольном направлении выполнена составной в виде отдельных секций с отбуртовками, соединяемых между собой с помощью болтов.

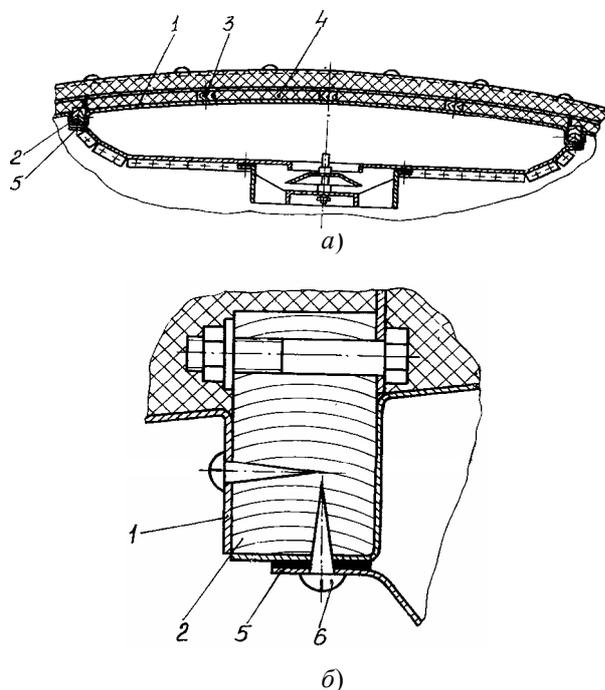


Рис. 2. Поперечный разрез на вагоне модели 61-779: а – приточного воздуховода; б – узла крепления

Соединение верхней 1 и нижней 5 частей осуществляется шурупами 6, путем вворачивания их в продольные балки 2. Такая конструкция приточного воздуховода, как показал наш опыт,

снижает расход материала, упрощает его сборку и обеспечивает необходимую доступность к местам его соединений.

Представляет интерес, на наш взгляд, конструкция приточного воздуховода с межсекционными стыковыми соединениями, выполненными из эластичного материала с возможностью самозамыкания (рис. 3) под действием разности давлений внутреннего P_1 и наружного P_2 , а также разрежения, возникающего в щели А при истечении воздуха из нее, в процессе самозамыкания. В приточном воздуховоде с самоуплотнением 1, 2 – секции воздуховода; 3 – эластичный уплотнительный элемент; P_1 , P_2 – внутреннее и наружное давление воздуха соответственно; А, Б – монтажные зазоры.

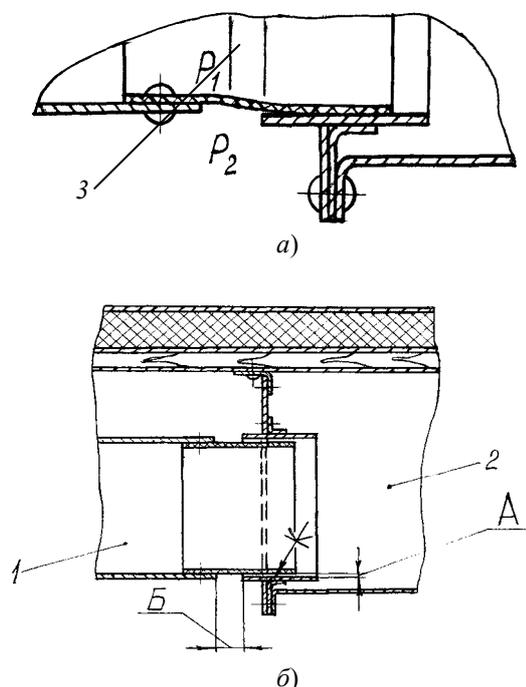


Рис. 3. Стыки секций приточного воздуховода с самоуплотнением: а – узел уплотнения при работающей установке кондиционирования; б – узел уплотнения при неработающей УКВ

Для обеспечения большей плотности стыков контактные поверхности уплотнительного узла имеют клеевое покрытие.

Такая конструкция без применения болтового крепежа стыков секций приточного воздуховода существенно снижает трудовые и материальные затраты, связанные с традиционным болтовым скреплением стыков (на вагоне мод. 61-779 количество крепежных точек в стыках секций составляет 435 единиц) и позволяет компенсировать погрешности, связанные с неточностями изготовления кузова вагона и секций воздуховода.

В настоящее время предъявляются жесткие требования к уровню внутреннего шума в вагоне. Так, согласно действующим на железнодорожном транспорте документам, уровень шума в пассажирском вагоне не должен превышать 65 дБА. В перспективе эта рекомендуемая норма не должна превышать 60 дБА.

Накопленный на ОАО «КВСЗ» опыт пассажирского вагоностроения показал, что традиционных для пассажирского вагоностроения средств с использованием шумоизолирующих мастиковых покрытий на стенках приточного воздуховода для защиты от шумовых воздействий, связанных с работой УКВ, недостаточно для достижения нормируемых уровней шума.

Несмотря на значительный практический опыт по акустической защищенности транспортных средств, задача по обеспечению в вагоне нормируемого уровня внутреннего шума остается до сих пор одной из сложных и трудноосуществимых инженерных задач, решаемых конструктором в процессе проектирования вагона. Трудности усугублены также отсутствием теоретических разработок пригодных для практического применения в вагоностроении.

С целью выбора эффективных методов и устройств шумовой защиты была разработана структурная акустическая модель шума с основными источниками шума и путями его передачи, применительно к пассажирскому вагону с УКВ.

Внутри вагона дискомфортные звуковые воздействия человеческий организм воспринимает через свой слуховой аппарат, реагирующий на механические колебания воздушной среды, вибрацию через свое тело, реагирующее на вибрацию конструкций вагона. Вибрацию и шум можно классифицировать по основным физическим принципам их возникновения, связанным с протеканием механических и аэродинамических процессов [2]. К основным механическим источникам внутреннего шума относится шум, порождаемый вибрацией, вызванной ударными воздействиями колесных пар на корпус вагона при их прохождении рельсовых стыков, неуравновешенностью вращающихся масс компрессора и вентиляторного агрегата. К механическим источникам шума нами условно отнесен также шум звукового поля, порождаемый работой в кондиционере лопаточных машин – вентиляторов обдува конденсаторов и приточного воздуха.

К основным аэродинамическим источникам внутреннего шума в пассажирском вагоне с УКВ следует отнести процессы, связанные с

транспортированием воздуха по приточному воздуховоду и подачей его в вагон – пульсации, связанные с неравномерностью полей давлений и скоростей, местные срывы и вихреобразование потока воздуха и др.

Внутренний шум обусловлен также воздействием и других виброшумоактивных источников: циклический характер рабочего процесса холодильной машины, ударные воздействия поршня, связанные с его переключкой в УКВ с поршневым компрессором. Последние факторы, в рамках принятой модели, не рассматривались.

На рис. 4 в схематичной форме показаны виды колебаний, пути их передачи и создаваемое в процессе этих воздействий звуковое поле в пассажирском и служебном купе вагона модели 61-779: 1) воздушный шум (внешний шум), вызванный звуковой вибрацией корпуса вагона, связанный с действием колесных пар при их прохождении межрельсовых стыков и передаваемый через элементы конструкций кузова и ограждений вагона; 2) воздушный шум (агрегатный шум), вызванный звуковой вибрацией корпуса кондиционера и передаваемый конструкциям вагона через опорные части кондиционера; 3) воздушный шум, порождаемый внешними источниками шума и работой кондиционера, а затем передаваемый в купе через отверстия потолочных воздухоподающих устройств и выпускные отверстия в дверях купе; 4) воздушный шум (наведенный шум), вызванный звуковой вибрацией стенок приточного воздуховода и излучаемый в воздушный поток, двигающийся по приточному воздуховоду; 5) воздушный шум от аэродинамических источников, связанных с течением воздуха по приточному воздуховоду (срывы, вихреобразование и пульсации давления).

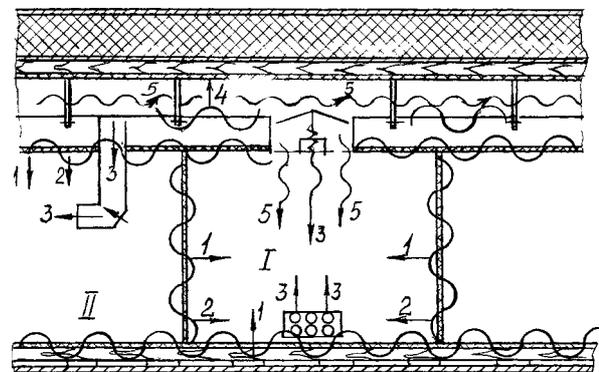


Рис. 4. Источники шума в пассажирском вагоне модели 61-779 и пути его звукопередачи: I – пассажирское купе; II – служебное купе

Согласно принятой модели механизма образования и передачи шума во внутрь вагона был разработан и осуществлен на вагоне модели 61-788 комплекс устройств звуковой защиты – покрытие наружной поверхности приточного воздуховода звукопоглощающими материалами и ввод в узкие места приточного воздуховода, имеющих в конструкции воздухораспределительного устройства, звукопоглощающих систем (глушителей) активно-резонаторного типа. При этом считалось, что в конструкции воздухораспределительных устройств наибольшая колебательная скорость частиц воздуха и, что основной носитель звуковой энергии, поступающей в купе – поток воздуха, подаваемого в купе через воздухораспределительные и мультивентные устройства.

На рис. 5 изображена имеющаяся на вагоне модели 61-788 конструкция приточного воздуховода с комплексной системой звукоизоляции. На наружные стенки воздуховода 1 наклеен звукопоглощающий материал 2 – нетканое полотно «Спрут» толщиной 15 мм, коэффициент звукопоглощения, которого в наших расчетах варьируется от $\alpha = 0,2$ при частоте звуковых колебаний $f = 100$ Гц до $\alpha = 0,9$ при $f = 3000$ Гц. В воздухораспределительные устройства 3 встроены активно-резонаторные глушители 4. Глушитель 4 состоит из алюминиевых перфорированных кассет 5, заполненных звукопоглощающим материалом «Спрут», поз. 6 со щелевыми пазами 7 и воздушных полостей 8.

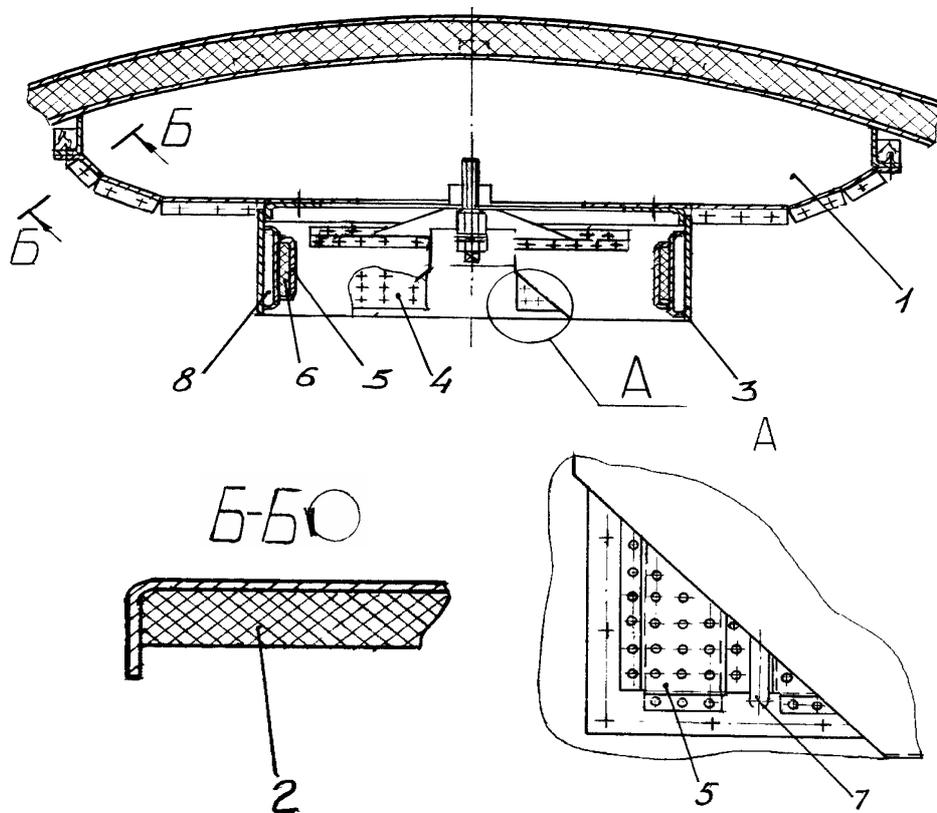


Рис. 5. Приточный воздуховод с комплексной системой шумоизоляции

Активно-резонаторные глушители в приточном воздуховоде размещены только в воздухораспределительных устройствах, наружные стенки покрыты теплоизолирующим материалом по всей поверхности приточного воздуховода.

Полезный акустический эффект разработанной системы шумопоглощения на высоких частотах обеспечивается присутствием шумопоглощающего материала «Спрут» на стенках приточного воздуховода и в кассетах глушителей. Суммарный шумопоглощающий эффект, оцениваемый по результатам сравнительных измере-

ний внутреннего шума в вагоне модели 61-779 со звукоизоляцией, выполненной путем покрытия приточного воздуховода звукозащитной мастикой «Terefon 112-DB», и внутреннего шума на вагоне модели 61-788, с разработанной системой шумопоглощения, составил 10-11 дБА.

Рассматривая в целом современные тенденции развития установок кондиционирования воздуха на железнодорожном транспорте, следует отметить стремление к созданию УКВ для подвижного состава с теплоснабжением за счет использования теплоты окружающей среды. Прак-

тической реализацией таких систем является сочетание в одном блоке кондиционера холодильной машины и теплового насоса, имеющих одинаковые принципы работы и обратные термодинамические циклы. Такое сочетание может оказаться экономически выгодным до средне-суточных температур окружающей среды $t_0 = -20^\circ\text{C}$. С увеличением температуры t_0 эффективность УКВ, с увеличением температуры t_b – возрастает, и может достигнуть значения $Q/N_\Sigma = 3 \dots 3,5$ (рис. 6) [3].

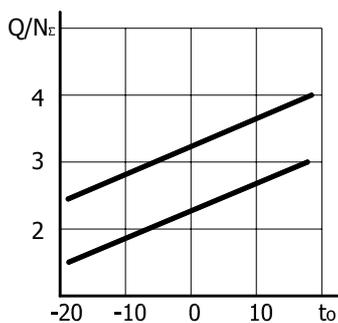


Рис. 6. Диапазон отношений полезной теплопроизводительности Q к общей затрачиваемой мощности N_Σ в зависимости от среднесуточной температуры t_0

Известно, что разработки систем кондиционирования с применением теплового насоса для железнодорожного подвижного состава ведутся в Российской Федерации и других странах. Наметившаяся тенденция применения УКВ с комбинацией холодильной машины и теплового насоса не осталась без внимания конструкторов вагоностроительного производства ОАО «КВСЗ».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шадур Л. А. Вагоны: Конструкция, теория и расчет / Л. А. Шадур, И. И. Челноков, Л. Н. Никольский и др. / Под ред. Л. А. Шадура. – М.: Транспорт, 1980. – 439 с.
2. Ключин И. И. Судовая акустика / И. И. Ключин, А. А. Клещев. – Л.: Судостроение, 1982.
3. Архарова А. М. Теплотехника / А. М. Архарова, И. А. Кожин и др. – М.: Машиностроение, 1986.

Поступила в редколлегию 18.02.2005.