

УДК 629.3.046

ОТОПЛЕНИЕ ДЛЯ ПРЕЗИДЕНТА. И НЕ ТОЛЬКО...

А. В. Зимнюхов, к. т. н. / А. В. Клочков, инж.
Центр испытаний «НАМИ» (НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ»)

Как известно, уже в 2014–2015 годах появятся первые прототипы автомобилей проекта «Кортеж». Такие машины должны иметь перспективный дизайн, современное стилевое решение и техническое оснащение, высокую надёжность и работоспособность. А ещё, учитывая особую категорию пользователей, крайне важно, чтобы в салоне обеспечивались стабильные комфортные тепловые условия в широком диапазоне режимов движения и внешних воздействий.

Это достигается заданием соответствующих технических требований необходимыми проектными расчётами и моделированием на стадии разработки и создания опытных (макетных) образцов, а также последующими доводочными работами с применением современной методической и технологической базы.

Понятно, что подробно рассмотреть все эти этапы в рамках одной статьи не представляется возможным, поэтому не будем затрагивать аспекты безопасности, так как они полностью охватываются Правилами ЕЭК ООН № 122 и специальными требованиями к таким транспортным средствам в части подготовки подаваемого в салон воздуха (фильтрация, увлажнение/осушение, озонирование, обеззараживание, блокирование подачи в экстренных случаях и т. п.). Не рассматриваем также неустановившиеся тепловые режимы, связанные, например, с прогревом или, наоборот, с охлаждением салона после открытой стоянки, так как маловероятно, чтобы VIP-персоне подавали неподготовленный автомобиль. Также полагаем, что конструкцией данного типа транспортного средства обеспечивается достаточное количество тепла (от двигателя, топливных обогревательных приборов¹) в холодный период года и достаточная хладопроизводительность кондиционера в тёплый период для прогрева или охлаждения воздуха в салоне соответственно с необходимой эффективностью.

Известно, что для управления системами отопления, вентиляции и кондиционирования автомобиля такого класса (уже и не только такого) оснащаются адаптивной системой автоматического климат-контроля. Эта система предназначена для создания и автоматического поддержания тепловых условий в салоне на заданном водителем и (или) пассажиром

уровне. Основной системы является микропроцессорный блок управления, который, анализируя поток входных сигналов, в том числе сигналы обратной связи (заданный водителем и (или) пассажиром режим, внешние условия, текущие параметры микроклимата² в салоне, режимы работы двигателя и движения автомобиля и т. п.), формирует управляющие воздействия на соответствующие исполнительные механизмы (приводной механизм компрессора, электродвигатель воздушной нагнетательной установки, систему привода кранов, заслонок, направляющих устройств и др.) по заданному изготовителем алгоритму (программе). Существующие (даже серийные) многозонные системы климат-контроля обеспечивают (наряду с теплоизоляцией кузова) поддержание заданных температур в салоне с достаточно высокой точностью (± 1 °C) и, соответственно, могут быть использованы в конструкции рассматриваемого типа транспортных средств без каких-либо серьёзных доработок. Это позволяет также без необходимости не приводить в настоящей статье допустимые пределы разброса оцениваемых и контролируемых параметров относительно их номинальных значений, полагая, что на практике диапазон их колебаний будет поддерживаться такой системой управления в допустимых пределах.

Поставленная задача обеспечения теплового комфорта, таким образом, сводится к обоснованию и выбору параметров таких тепловых условий, которые будут восприниматься человеком как комфортные и которые, собственно, должна будет поддерживать в салоне система управления. Очевидно, что применение для этих целей наших национальных требований в отношении систем отопления, вентиляции и кондиционирования, изложенных в ГОСТ Р 50993–96 (часть из которых впоследствии была перенесена в технический регламент [1]), не отвечает условиям задачи и не может быть признано сколько-нибудь эффективным. Этот стандарт разрабаты-

¹ Определение по Правилам ЕЭК ООН № 122-00.

² Микроклимат — комплекс физических факторов внутренней среды помещений (температуры, влажности и скорости движения воздуха, температуры поверхностей ограждающих конструкций, предметов, оборудования, а также некоторых их производных), оказывающий влияние на тепловой обмен организма, физиологическое состояние и здоровье человека.

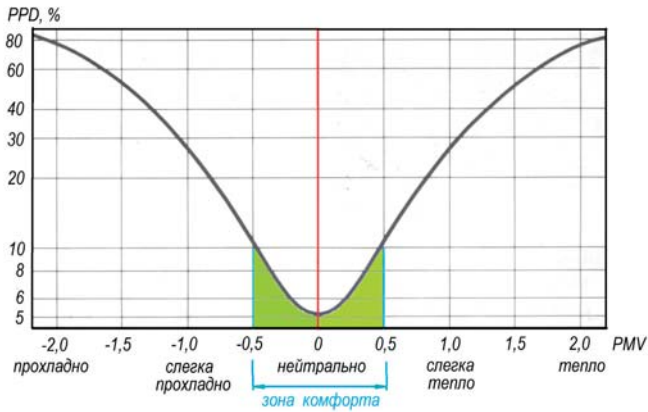


Рисунок 1

вался по материалам конца 70-х — начала 80-х годов прошлого столетия, изначально не был направлен на обеспечение условий теплового комфорта и устанавливает лишь минимальный уровень требований (и по номенклатуре показателей, и по нормативам) к условиям безопасности.

Комфортное тепловое состояние (тепловой комфорт) человека — это функциональное состояние его организма, характеризующееся определённым содержанием и распределением теплоты в поверхностных и глубоких тканях тела при минимальном напряжении аппарата терморегуляции [2–4]. Субъективно такое состояние оценивается как наиболее предпочитаемое, то есть когда человеку ничего не хочется менять и (или) улучшать. Объективная характеристика теплового комфорта — это постоянство температуры тела, минимальная активность потовых желёз (неощутимое потоотделение — 40–60 г/ч), небольшие периодические колебания температуры конечностей, особенно кистей и стоп (в диапазоне 30–31 °С) при почти неизменном уровне температуры кожи в области туловища (около 33 °С), относительное постоянство средней температуры кожи (32–33 °С), оптимальный уровень функционирования сердечно-сосудистой, дыхательной, пищеварительной и других физиологических систем организма. Такие условия, что немаловажно для рассматриваемой задачи, также обеспечивают наивысший уровень умственной работоспособности человека.

К настоящему времени поведенческие эффекты и реакции человека в изменяющихся тепловых состояниях окружающей среды, в том числе в условиях транспортных средств, в которых желателен тепло-

вой комфорт, достаточно хорошо изучены. Проведённые исследования с привлечением большого числа экспертов (1 300 человек разного пола и возраста) [6, 7, 14–16] позволили связать субъективные ощущения человека с его тепловым балансом, то есть состоянием, когда генерируемое внутри человека количество тепла становится эквивалентным теплоотдаче в окружающую среду, посредством шкалы температурной чувствительности и определить интегральные показатели теплового комфорта. Такими показателями являются ожидаемая средняя оценка качества воздушной среды — PMV (Predicted Mean Vote) — и прогнозируемый процент лиц, недовольных данной температурной средой (микроклиматом), — PPD (Predicted Percentage Dissatisfied). Взаимосвязь между показателями PMV и PPD в зоне, близкой к комфортной, в графическом виде представлена на рис. 1.

В умеренной тепловой среде при некотором изменении её параметров система терморегуляции человека способна автоматически поддерживать тепловой баланс посредством изменения температуры кожи и интенсивности потоотделения. В определённых границах таких изменений процесс не ощущается человеком и не вызывает у него чувства дискомфорта [2, 6, 7]. В соответствии с таким представлением нейтральное тепловое состояние человека с минимальным напряжением его системы терморегуляции воспринимается им как комфортное и оценивается численными значениями интегральных характеристик: $PMV = 0$ с отклонением до $\pm 0,5$ и $PPD = 5–10\%$ (то есть 90–95 % экспертов удовлетворены данным микроклиматом). Понятно, что из-за индивидуальных особенностей человека практически невозможно создать такие условия, которые удовлетворили бы всех.

В свою очередь, любое определённое пространство, в рассматриваемом случае — тепловая среда внутри салона, имеет свои параметры и характеристики, такие как обычная температура (по сухому термометру), радиационная температура, влажность и подвижность воздуха. Комплексной характеристикой тепловой среды при этом является её эквивалентная (или оперативная) температура (t_s , °С) [7, 12], которая отражает интегральное воздействие на человека температуры и скорости движения воздуха, а также теплового излучения окружающей среды³. Эквивалентная температура реальной среды (с неравномерной

³ В общем случае эквивалентная t_s и обычная (по сухому термометру) t_B температуры связаны соотношением:

$t_s = AtB + (1 - A) tP$ (1), где: A — коэффициент подвижности воздуха VB ($A = 0,5$ при $VB < 0,2$ м/с и $A = 0,6$ при $0,2 < VB < 0,6$ м/с); tP — средняя радиационная температура, °С, $tP = [t_{III} + 273] 4 + 1,16 \cdot 108 \cdot VB 0,6 \cdot D_{III} 2,5 (t_{III} - t_B)] 0,25 - 273$ (2) [10], где: t_{III} — температура внутри сферы Вернона, °С; D_{III} — диаметр сферы Вернона, м [5]. Предполагается, что относительная влажность воздуха в салоне поддерживается системой подготовки воздуха на комфортном уровне (50 + 10%). Изменение относительной влажности в указанных пределах не вызывает изменения эквивалентной температуры более чем на +0,3 °С и поэтому не учитывается в дальнейших расчётах.

температурой, излучением, подвижностью воздуха) соответствует значению равномерной температуры воздуха внутри какого-то замкнутого воображаемого «чёрного» пространства (без теплового излучения) с нулевой подвижностью воздуха, в котором человек теряет такое же количество тепла от конвекции и излучения, как и в рассматриваемой реальной среде.

Для любого пространства существует оптимальная эквивалентная температура (температура комфорта), соответствующая такой тепловой среде, которая воспринимается человеком как комфортная. Качественное восприятие человеком той или иной тепловой среды зависит не только от параметров самой среды, но и от параметров, относящихся непосредственно к человеку и определяющих характер его теплового баланса. Это, прежде всего, количество тепла, генерируемое организмом (метаболическое тепло), и тепловое сопротивление (теплозащитные свойства) одежды, нормализующие теплообмен тела человека с окружающей средой [7].

Количество метаболического тепла (принято измерять в метаболических единицах — МЕТ, где 1 МЕТ соответствует 58 Вт/м^2) [8] зависит от индивидуальных особенностей человека (возраста, физических данных, степени адаптации к определённым условиям и т. п.), но в основном определяется уровнем его физической активности в процессе выполнения каких-либо действий. В зависимости от типа задач обычно применяются три уровня определения значения метаболического тепла (в порядке повышения точности оценки):

- уровень I — по описанию вида деятельности;
- уровень II — по уровню (частоте) сердечного ритма;
- уровень III — по объёму потребления кислорода и выделения углекислого газа во время выполнения работы и в периоды отдыха и восстановления.

Полагаем, что в рамках данной работы достаточно использовать первый уровень, основанный на приближённой оценке значений метаболического тепла в зависимости от вида деятельности и физической активности. В соответствии с такой оценкой общие потери тепла среднестатистического человека, сидящего в спокойном состоянии или с низким уровнем физической активности (письмо, расчёты, работа на компьютере), составляют 1 ... 1,2 МЕТ ($58\text{--}70 \text{ Вт/м}^2$), в том числе так называемые сухие теплотери составляют примерно 80 %, то есть $46\text{--}56 \text{ Вт/м}^2$ (остальное тепло выделяется в виде пара через кожу, слизистые оболочки, дыхательные пути) [13, 15]. Полагаем, что такие значения активности (и, соответственно, теплотери организма) будут также близки для потребителя транспортного средства VIP-класса и могут быть приняты как расчётные для рассматриваемой задачи.

Теплозащитные свойства одежды также оказывают существенное влияние на работу системы терморегуляции человека и восприятие им тепловой среды в отношении её комфортности. В расчётах, связанных с оценкой состояния человека в тепловой среде, в качестве характеристики теплозащитных свойств его одежды (одного или нескольких предметов, комплекта) обычно используется внесистемная единица базовой теплоизоляции — Clo (1 Clo соответствует $0,155 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$) [9]. В общем случае показатели тепловой защиты одежды человека в транспорте обычно варьируются от 0,3 (лёгкий тропический комплект) до 1,5 (традиционный деловой костюм с пальто). К настоящему времени существует достаточно большая база данных в отношении свойств теплоизоляции как отдельных типовых предметов одежды, так и её стандартных комплектов, сформированная на основе многочисленных измерений

Таблица 1. Параметры тепловой защиты стандартного комплекта одежды для человека в транспорте

Летний период		Зимний период	
Наименование предмета*	Значение Clo_i (в единицах Clo)	Наименование предмета*	Значение Clo_i (в единицах Clo)
1. Нижнее бельё	0,14	1. Нижнее бельё	0,19
2. Лёгкие брюки	0,20	2. Нормальные брюки	0,25
3. Летний пиджак	0,25	3. Пиджак + жилет	0,47
4. Рубашка (с галстуком)	0,22	4. Рубашка (с галстуком)	0,29
5. Носки, обувь	0,06	5. Носки, обувь	0,09
6. Сиденье (кресло) вентилируемое	0,10	6. Сиденье (кресло) вентилируемое с подогревом	0,2
Суммарное (расчётное) значение $\Sigma Clo = 0,75 \Sigma Clo_i + 0,08$	0,8	Суммарное (расчётное) значение $\Sigma Clo = 0,75 \Sigma Clo_i + 0,08$	1,2**

Примечания.

* Приведены данные для предметов мужской одежды. Для пассажира-женщины суммарные значения ΣClo её стандартного комплекта примерно равны приведённым расчётным значениям.

** Увеличивается до 1,4–1,5 Clo , если поверх пиджака надето пальто.

с применением манекенов с тепловыми датчиками [11, 13]. При отсутствии значений для нужного комплекта допускается сложение значений Clo_i отдельных предметов. За расчётное значение может приниматься полученная сумма $\Sigma Clo = \Sigma Clo_i$ [9], но в более ответственных задачах для учёта взаимного влияния отдельных предметов одежды рекомендовано принимать значение, скорректированное по формуле $\Sigma Clo = 0,75 \Sigma Clo_i + 0,08$ (3) [14]. Влияние сиденья (кресла) в термическом сопротивлении сидящего человека обычно учитывается добавлением до $0,2 Clo$ к суммарной защите одежды ΣClo_i . Полагая, что пассажир рассматриваемого типа транспортного средства обычно одет в стандартный комплект (деловой костюм), представляется возможным оценить уровень тепловой защиты его одежды для летнего и зимнего периодов (табл. 1).

Исходя из принятого уровня физической активности человека (спокойное состояние, умственная работа или лёгкие физические действия) с количеством метаболического тепла $1-1,2$ МЕТ и с учётом теплозащитных свойств одежды ($0,8 Clo$ и $1,2 Clo$ соответственно для летнего и зимнего периодов), становится возможным определение значений температур комфорта, то есть эквивалентных температур, соответствующих комфортным тепловым условиям, которые должны достигаться и поддерживаться в салоне рассматриваемого типа транспортных средств. Для этого используется существующая функциональная аналитическая зависимость показателя PMV от эквивалентной температуры t_e , °С, метаболического тепла M , МЕТ, и теплоизоляции одежды ΣClo , то есть $PMV = f(t_e, M, \Sigma Clo)$ (4) [6, 10] (в полном виде соотношение не приводится ввиду его громоздкости). Необходимые значения температур комфорта можно получить решением его относительно t_e при $PMV = 0$, $M = 1... 1,2$ МЕТ и $\Sigma Clo = 0,8$ или $1,2 Clo$ (в зависимости от сезона). Однако к настоящему времени достаточно большой объём расчётов показателей PMV в различных вариациях, входящих в соотношение аргументов, уже выполнен. Результаты таких расчётов являются общедоступными и обычно представляются в табличном или графическом виде [6, 14, 15]. Аналогичные расчёты также были проведены в НИЦИАМТ [11 и др.]. Они базировались на материалах натуральных испытаний в широком диапазоне внешних условий (от $+45$ °С в условиях жаркого климата — Южный автополигон, г. Пскент, Узбекистан — до -45 °С в условиях очень холодного климатического района — Северная испытательная станция, г. Сусуман) и подтвердили адекватность расчётных показателей микроклимата фактическим тепловым ощущениям человека. Фрагменты соответствующих зависимостей в объёме, необходимом

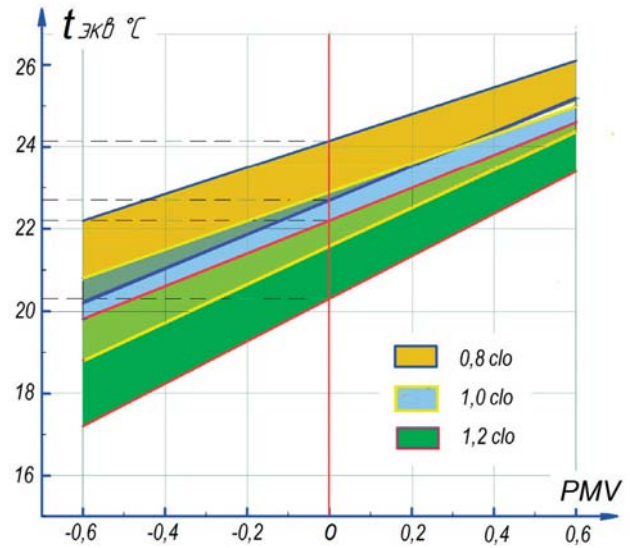


Рисунок 2.

для решения рассматриваемой задачи, приведены на рис. 2.

Из приведённых зависимостей следует, что подавляющее большинство пользователей транспортного средства будут воспринимать эквивалентную температуру внутренней среды как комфортную на уровне $23-24$ °С в летний период и $20-22$ °С в зимний период.

Из этого также следует, что именно эквивалентная температура (а не температура по обычному термометру) должна быть основным контролируемым параметром при поддержании тепловых условий в салоне на заданном комфортном уровне. Для этого в конструкции системы управления тепловым состоянием внутренней среды в качестве чувствительного элемента также должны применяться не датчики обычной температуры, а первичные преобразователи, объединяющие (преобразующие) значения наиболее важных параметров тепловой среды (температуру и скорость движения воздуха, тепловое излучение) в один параметр — эквивалентную температуру. Такие преобразователи уже давно применяются в измерительных системах микроклимата (типа Bruel & Kjaer, ALMEMO и др.), обеспечивают возможность непосредственной регистрации эквивалентной температуры, и, полагаем, нет каких-либо сложностей в использовании аналогичных элементов в конструкции рассматриваемых систем управления микроклиматом.

Однако тепловые условия с приведёнными выше значениями температур комфорта внутренней среды отражают лишь общий тепловой комфорт человека, основанный на тепловом балансе всего тела человека, когда он рассматривается как единое

целое в среде со стабильными (или медленно меняющимися) параметрами. В замкнутом пространстве салона транспортного средства также реальны условия локального дискомфорта. Локальный дискомфорт — это неудовлетворённость человека тепловой средой из-за нежелательного нагрева или охлаждения отдельных (локальных) участков поверхностей его тела (в том числе из-за сквозняка) по причине повышенной или пониженной температуры пола, асимметрии теплового излучения от верхних и боковых ограждений (потолка, боковых стен кузова) и, что особенно важно, из-за несоответствия оптимальному локальному тепловому балансу распределения температур по вертикали. Многие из указанных причин дискомфорта известны конструкторам и могут быть полностью (или же в большей степени) устранены уже на этапе разработки конструкции и предварительных испытаний. Нежелательный нагрев или охлаждение отдельных частей тела человека (сквозняк) исключается или сводится к минимуму применением эффективных уплотнений кузова и системы распределения воздушных потоков с рациональным (желательно симметричным относительно человека) расположением выходных отверстий, включающим подачу воздуха (в особенности охлаждённого и с ощутимой турбулентностью) в зону дыхания или на чувствительные зоны (глаза, губы, шею, кисти рук, плечи и предплечья, ступни ног). Подвижность воздуха, особенно в зоне открытых частей тела человека (головы, рук), должна ограничиваться комфортным значением 0,15–0,2 м/с, что, исходя из опыта НИЦИАМТ, вполне достижимо. Температура поверхности пола (не путать с температурой воздуха в зоне ног) комфортна в пределах $24 \pm 2^\circ\text{C}$. Для исключения дискомфорта из-за асимметрии теплового излучения разница между температурами поверхности потолка и воздуха в зоне головы человека не должна быть более 5°C в случае тёплого потолка или ниже $7\text{--}12^\circ\text{C}$ в случае холодного потолка. По этой же причине разница между температурами поверхностей боковых ограждений (дверей, стёкол, стенок кузова) и воздуха в наиболее чувствительных зонах человека также не должна быть более $12\text{--}20^\circ\text{C}$ в случае тёплой стены или ниже $7\text{--}12^\circ\text{C}$ в случае холодной стены в зависимости от расстояния до человека [6]. Негативное влияние асимметрии теплового излучения существенно снижается применением эффективной теплоизоляции кузова, при необходимости с подогревом/охлаждением внутренних панелей, тонированного остекления и другими известными мероприятиями.

Продолжение в следующем номере

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. О безопасности колёсных транспортных средств: технический регламент (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 10 сентября 2010 г. № 706).
2. Слоним А. Д., Воронин Н. М. Влияние на организм климата как средства профилактики и курортного лечения // Основы курортологии. — Ч. 1. — М., 1959.
3. Горомосов М. С. Микроклимат жилищ и его гигиеническое нормирование. — М., 1963.
4. Кандрор И. С., Дёмина Д. М., Ратнер Е. М. Физиологические принципы санитарно-климатического районирования территории СССР. — М., 1974.
5. Зимнюхов А. В. Система кондиционирования как средство повышения безопасности автомобильного транспорта // Журнал автомобильных инженеров. — 2014. — № 1.
6. Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчёта показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта: ГОСТ Р ИСО 7730–2009 (ISO 7730:2005).
7. Эргономика тепловой окружающей среды. Принципы и применение признанных международных стандартов: ГОСТ Р ИСО 11399–2007.
8. Эргономика. Определение выделения метаболического тепла: ИСО 8996:2004.
9. Эргономика термальной среды. Оценка теплоизоляционных свойств и стойкости к испарению комплектов одежды: ISO 9920:2007.
10. Методика определения и оценки показателей микроклимата в салоне автомобиля: РД 37.052.168–88.
11. Определение и оценка показателей теплового комфорта в салоне АТС: технический отчёт НИЦИАМТ. — Дмитров, 1989.
12. Большой медицинский словарь. [Электронный ресурс]. URL: http://mirslivare.com/bigmedslov_a (дата обращения: 13.05.2014).
13. Wyon D., Larsson S., Forsgrean B., Lundgren I. Standard Procedures for Assessing Vehicle Climate With a Thermal Manikin // Technical Paper Series. — 1989.
14. Thermal Comfort Meter Bruel & Kjaer Type 1212: Instruction Manual. — 1982.
15. Olesen B. W. Thermal Comfort, in Bruel and Kjaer: Technical Review. — 1985. — № 1.
16. Parsons K. Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance. — Second Edition. — USA, 2003.