

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГАЗОБАЛЛОННЫХ АВТОМОБИЛЯХ

Для обеспечения работы двигателей на газе на базовый автомобиль устанавливается дополнительное оборудование, позволяющее хранить и подавать в двигатель внутреннего сгорания (ДВС) газообразное топливо.

Для повышения эффективности применения газообразного топлива, существенно отличающегося по свойствам от жидких топлив, может изменяться конструкция двигателя и отдельных его систем (рис. 1.1).

Баллон для хранения газообразного топлива 2 обычно располагается в свободном и доступном месте автомобиля. Из баллона газ поступает к двигателю через запорную арматуру 1 по трубопроводу 11

Для включения подачи газа в кабине водителя имеется переключатель вида топлив 3 и управляемые газовый 4 и бензиновый 10 клапаны. Снижение давления газа и управление его расходом выполняет редуктор 7 Для образования и подачи в двигатель топливовоздушной смеси устанавливают газовый смеситель 9.

В зависимости от вида применяемых газообразных топлив и типа двигателей автомобили производятся или переоборудуются в газобаллонные автомобили: однопаливные, двухтопливные с независимым питанием двигателя одним из топлив и двухтопливные с одновременной подачей двух топлив (газодизели).

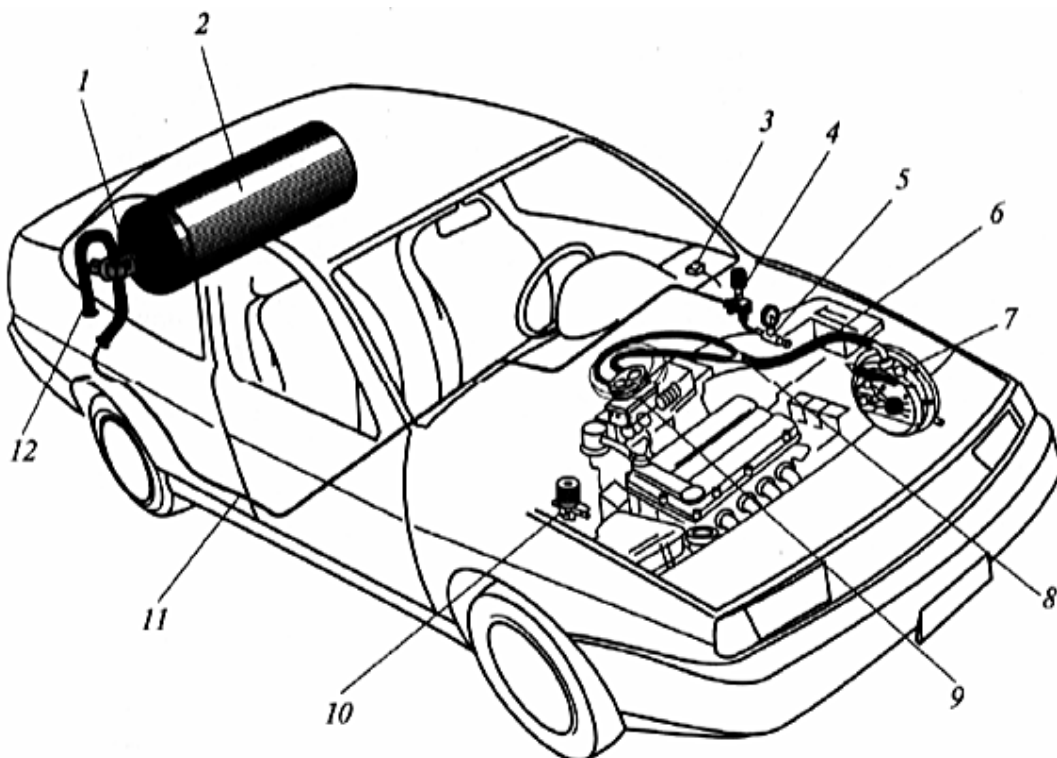
Наибольшее распространение нашли двухтопливные ГБА, так как вторая система питания (бензиновая или дизельная) всегда может быть включена для питания двигателя в случае выхода из строя газовой системы или невозможности заправки газом.

Первые ГБА были выпущены в начале XX века за рубежом. Достаточно широкое распространение в СССР ГБА получили в 1940-е годы, когда был острый дефицит жидких топлив. Наиболее активно работы по переводу автотранспорта на газ были начаты в начале 1980-х годов (после топливного кризиса 1970-х годов

К концу 1980-х годов число отечественных газобаллонных автомобилей достигало нескольких сотен тысяч. В эти годы была заложена основа сети заправок сжиженным природным и нефтяным газом.

В последние годы интерес к применению газообразных топлив снова резко возрос. Основными причинами этого стали возрастающие требования к защите окружающей среды, рост цен на бензин и дизельное топливо и его дефицит в регионах.

В настоящее время отечественной промышленностью выпускаются комплекты газобаллонного оборудования для переоборудования автомобилей марок ЗИЛ, ГАЗ, МАЗ, КамАЗ, ВАЗ, АЗЛК, ряда автобусов и многих автомобилей иностранного производства.



*Рис. 1.1.* Основные агрегаты и узлы газобаллонного автомобиля:

1 - запорная арматура; 2 - газовый баллон; 3 - переключатель вида топлива; 4 - газовый клапан; 5 - контрольный манометр; 6 – патрубок подвода газа к смесителю; 7 - газовый редуктор; 8 - дозатор газа; 9 -газовый смеситель; 10 - бензиновый клапан; 11 - трубопровод; 12 –вентиляционный рукав

В табл. 1.1 представлены данные об основных выпускаемых комплектах ГБО. Благодаря существенной разнице в стоимости газа и жидких топлив применение газомоторного топлива экономически оправдано при годовом пробеге более 20 тыс. км. Ресурс двигателя, работающего на газе, увеличивается на треть по сравнению с ресурсом двигателя, работающего на бензине.

Таблица 1.1

Данные о выпускаемых комплектах ГБО (см. таблицу ниже)

<b>Автомобиль</b>	<b>Модель ГБО</b>	<b>Изготовитель</b>
АЗЛК-2141 – 02	ГБА-211 Р-132	ЗАО «Автосистема» ОАО«РЗАА»
АЗЛК-2335	ГБА-212 Р-134	ЗАО «Автосистема» ОАО«РЗАА»
ВАЗ-2101...2107	ГБА-210	ЗАО «Автосистема»
ВАЗ-2121	ГБА-212	ЗАО «Автосистема»
ГАЗ-3221 «Газель» (8 мест) ГАЗ-322173 «Газель» (13 мест) ГАЗ-330210 «Газель» ГАЗ-330211 «Газель»	ГАЗ-310210 «Газель» «Сага-7» ИПФ «Газель» Р-131  ГАЗ-330210 «Газель» АКТШ-410.800 «Газель» ГБА-240	«Сага»  ОАО «РЗАА»  ЗиФ (Завод им. М.В.Фрунзе) ЗАО «Автосистема»
ГАЗ-3307	ГАЗ-3307 Р-117	ОАО «РЗАА»
ГАЗ-52-27 ГАЗ-52-28	ГАЗ-52, 53 ГБА-291	ЗАО «Автосистема»
ГАЗ-3307	ГАЗ-52, 53 ГБА-291	ЗАО «Автосистема»
ЗИЛ-431410 ЗИЛ-431510	ЗИЛ-130 АВСТР. 454400.290	ЗАО «Автосистема»
ЗИЛ-431610	ЗИЛ-4316 ГБА-290	ЗАО «Автосистема»
ЗИЛ-433100	ЗИЛ-4331 ГБА-292	ЗАО «Автосистема»
Икарус-250	Икарус-250, 260, 280, 283 Р-04462	ОАО «РЗАА»
Икарус-260	Икарус-250, 260.10, 280, 283 ГБА-601	ЗАО «Автосистема»
КамАЗ-5320	ГБА-450	ЗАО «Автосистема»
ЛАЗ-42021	ГБА-500	ЗАО «Автосистема»
ЛАЗ-695Н ЛАЗ-699Р	ГБА-502	ЗАО «Автосистема»
ЛиАЗ-5256	ГБА-500	ЗАО «Автосистема»
ЛиАЗ-677М	ГБА-501	ЗАО «Автосистема»
ПАЗ-3205	ТШ-408.800	ЗиФ (Завод им. М.В.Фрунзе)
УАЗ-2206	УАЗ-469 А ТШ-402.800	ЗиФ (Завод им. М.В.Фрунзе)
УАЗ-3303	УАЗ-3303 А ТШ-359.800	ЗиФ (Завод им. М.В.Фрунзе)

## 2. ВИДЫ И СВОЙСТВА ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

Газообразные топлива являются альтернативным видом энергоносителей по отношению к традиционным жидким топливам, получаемым из нефти.

Физико-химические и эксплуатационные свойства газообразных топлив существенно отличаются от бензинов и дизельных топлив, что влияет на конструкцию газовых систем питания и их эксплуатацию. Техническое обслуживание и ремонт газового оборудования, переоборудование, хранение ГБА и их заправка, подготовка ремонтных рабочих имеют существенные особенности.

К газообразным углеводородным топливам, которые достаточно широко применяются в настоящее время и имеют перспективы расширения их использования, относятся:

- компримированный (сжатый) природный газ (КПГ) (метан);
- газ сжиженный нефтяной (ГСН) (пропан-бутановая смесь).

Другие виды газообразных топлив - сжиженный природный газ (метан), биогаз (метан и другие составляющие), диметилэфир, водород - пока не нашли коммерческого применения.

Основными компонентами газообразных углеводородных топлив являются углеводородные газы - метан, пропан, бутан и ряд других. Эти газы могут храниться на автомобиле в сжиженном или газообразном агрегатном состоянии. Агрегатное состояние газа зависит от физико-химических свойств его компонентов, температуры и давления в баллоне. Основные физикохимические свойства компонентов газообразных углеводородных топлив, влияющих на конструкцию и эксплуатацию ГБА, и бензина представлены в табл. 2.1.

От агрегатного состояния компонентов газообразного топлива зависят способы заправки и его хранения, существенно влияющие на конструкцию и эксплуатацию ГБА.

Таблица 2.1

Физико-химические свойства компонентов газообразных топлив и бензина, влияющих на конструкцию и эксплуатацию ГБА.

Параметр	Компоненты				Бензин
	Метан	Этан	Пропан	Бутан	
Молекулярная формула	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	-
Молекулярная масса, кг/моль	16	30	44	58	114,2
Плотность жидкой фазы при температуре кипения и давлении 100 кПа, кг/м <sup>3</sup>	416	546	584	600	735
Плотность газовой фазы при нормальных условиях (15 °С, 760 мм. рт. ст.), кг/м <sup>3</sup>	0,717	1,356	2,019	2,703	5,18
Относительная плотность газовой фазы (по воздуху)	0,554	1,048	1,562	2,091	3,78
Критическое давление (абсолютное), МПа	4,58	4,88	4,20	3,60	
Критическая температура кипения, °С	- 82,0	32,3	96,8	152,9	-
Температура кипения при давлении 100 кПа, °С	- 161,5	- 88,5	- 42,1	- 0,5	35 - 205
Теплота сгорания (низшая) удельная, МДж/кг	49,7	47,1	45,9	45,4	43,9
Теплота сгорания (низшая) объемная, МДж/м <sup>3</sup>	33,8	59,9	85,6	111,6	213,1
Теоретически необходимое для сгорания топлива количество воздуха, кг/кг	17,2	16,8	15,8	15,6	14,9
Теплота сгорания горючей смеси при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,0$ МДж/м <sup>3</sup>	3,22	3,40	3,46	3,49	3,56
Теоретически необходимое для сгорания топлива количество воздуха, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	9,52	16,66	23,91	30,95	58,61
Температура воспламенения топлива в воздухе при атмосферном давлении, °С	680...750	508...605	510...580	475...550	470...530
Пределы воспламенения объемные, %: нижний верхний	5,0 15,0	3,2 12,5	2,1 9,5	1,9 8,5	1,5 6,0
Октановое число (ОЧ) (по моторному методу)	110	108	105	94	80 - 90

Из табл. 2.1 следует, что все компоненты газообразных топлив при атмосферном давлении имеют температуру кипения ниже 0 °С. Однако если в емкости с газом повысить давление, то температура кипения газа существенно увеличится. Эти давления и температуры имеют пределы, называемые критическими.

Очень низкие температуры кипения при атмосферном давлении (- 161,5 °С) и критическая температура (- 82 °С) метана делают технически сложными заправку и хранение метана в сжиженном состоянии, для чего используются изотермические баллоны с комплексной термоизоляцией. Поэтому в настоящее время большое распространение получил способ заправки и хранения метана на автомобилях в сжатом, или так называемом компримированном, состоянии под высоким давлением. На автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях (АГНКС) для заправки ГБА в странах СНГ рабочее давление - 20,0 МПа. Использование сжиженного метана получило в настоящее время распространение при доставке природного газа. В перспективе при освоении криогенных баллонов сжиженного природного газа для ГБА этот вид топлива может стать конкурентом дорогостоящим бензинам. Над этой проблемой работают в настоящее время ученые и конструкторы различных отраслей машиностроения.

При снижении давления метана в газовом редукторе высокого давления температура резко снижается (эффект Джоуля-Томпсона). Например, при снижении давления с 10,0 до 1,0 МПа падение температуры газа составит около 30 °С. Даже в летний период влага, содержащаяся в газе, может образовать кристаллы льда и стать препятствием при подаче газа в двигатель. Таким образом, важными мероприятиями для эксплуатации ГБА являются: очистка (осушение) газа от воды при заправке на автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях; своевременная замена фильтров в системе питания автомобиля; эффективный подогрев газа перед снижением давления в редукторе, особенно в зимний период эксплуатации.

Пропан и бутан - основные компоненты ГСН - по сравнению с метаном имеют значительно более высокие температуры кипения при атмосферном давлении (- 42,5 и - 0,5 °С, соответственно) и критические температуры (+ 96,8 и + 152,9 °С, соответственно). Такие свойства позволяют хранить пропан и бутан в сжиженном состоянии в диапазоне эксплуатационных температур от - 40 до + 45 °С при относительно низком давлении (до 1,6 МПа). Основными преимуществами газов, находящихся в сжиженном состоянии, по сравнению с комбинированным газом являются: большая концентрация тепловой энергии в единице объема, значительно меньшее рабочее давление в баллонах и, соответственно, меньшие прочность и толщина стенок баллона и запорной арматуры, их меньшие масса и стоимость. Например, один 50 - литровый баллон, заправленный ГСН, для автомобиля ВАЗ рассчитан на 500 км пробега, а КППГ - только на 100 км.

Давление насыщенных паров оказывает большое влияние на конструкцию и работу газобаллонного оборудования. По максимальному

давлению газа рассчитывают прочность баллона. Газы поступают из баллона в редуцирующие устройства двигателя ГБА в отличие от бензина под действием избыточного давления в баллоне для преодоления сопротивления редуцирующего устройства. Это свойство особенно актуально при эксплуатации ГБА в условиях низких температур, когда компоненты ГСН переходят в жидкое состояние и, следовательно, их избыточное давление приближается к нулю.

Для метана доминирующим является давление заправки, которое по мере выработки газа из баллона уменьшается до предельного значения.

Для сжиженных газов давление в значительной степени зависит не от количества газа в баллоне, а от температуры (рис. 2.1). Так как каждый из компонентов имеет определенную температуру кипения, давление паровой фазы смеси сжиженных газов зависит как от температуры, так и от компонентного состава. Давление смеси газов можно определить по значению составляющих (парциальных) давлений углеводородных газов, входящих в состав смеси, пропорционально концентрациям. Свойства сжиженных газов определяются по параметрам отдельных углеводородов, входящих в смесь.

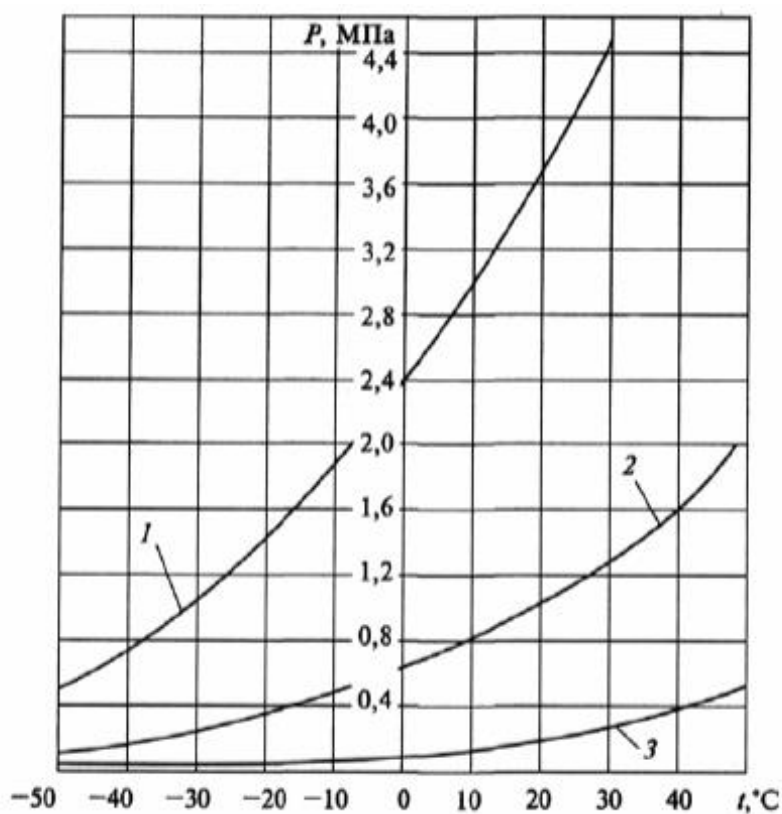


Рис. 2.1. Зависимость давления газовой фазы от температуры основных компонентов ГСН: 1 – этан; 2 – пропан; 3 – нормальный бутан

Компоненты ГСН в сжиженном виде имеют большой коэффициент объемного расширения, поэтому во избежание разрушения баллона запрещается заправлять его полностью. Для этого необходимо оставлять так называемую паровую «подушку» (фазу). Степень заполнения (полезная емкость) автомобильных газовых баллонов должна быть в пределах 80...85 %. Арматура автомобильных газовых баллонов имеет специальное устройство, автоматически прекращающее заправку баллона при достижении предельного уровня топлива.

Основные компоненты ГСН - пропан, бутан и этан – имеют большие по сравнению с метаном показатели плотности и тяжелее воздуха (табл. 2.1). Таким образом, они, скапливаясь в канавах и на полу рабочих зон автотранспортных предприятий, представляют большую опасность по сравнению с метаном. Метан благодаря низкой плотности (почти в два раза легче воздуха) в случае утечки устремляется вверх в вентиляционные устройства.

Плотность паровой фазы газа оказывает влияние на массовый заряд газозвушной среды, поступающей в цилиндры двигателя, а, следовательно, и на мощность, и на топливную экономичность. В зимнее время, когда плотность газозвушной смеси достигает максимальных значений, двигатель ГБА имеет наилучшие эксплуатационные показатели. Ряд зарубежных конструкций двигателей имеют отключение подогрева впускного коллектора для увеличения плотности заряда.

Все компоненты газообразных топлив первоначально не имеют цвета и запаха, поэтому для обнаружения утечек и обеспечения безопасности при использовании этих видов топлива на автомобилях их одорируют, т.е. придают особый запах.

Анализ теплофизических свойств топлива и его горючей смеси (теплота сгорания газа и теплотворность горючей смеси) показывает, что все газы превосходят бензин по теплотворной способности, однако в смеси с воздухом их энергетические показатели снижаются, и это является одной из причин уменьшения мощности газобаллонных автомобилей на ГСН до 7 % и на КПП до 20 %. Вместе с тем высокие октановые числа газообразных топлив позволяют увеличить степень сжатия газовых двигателей за счет изменения конструкции и поднять показатель мощности.

Высокие октановые числа требуют увеличения угла опережения зажигания. Раннее зажигание может привести к перегреву деталей двигателя. В практике эксплуатации наблюдаются случаи прогорания днищ поршня и клапанов при слишком раннем зажигании и работе одновременно на бедных смесях.

Компоненты газового топлива имеют пределы воспламенения, значительно смещенные в сторону бедных смесей, что дает дополнительные возможности повышения топливной экономичности.

Газообразные углеводородные топлива относятся к наиболее чистым в экологическом отношении моторным топливам.



Выбросы токсичных веществ с отработавшими газами газобаллонных автомобилей по сравнению с бензиновыми значительно ниже.

Газ сжиженный нефтяной в качестве топлива для автомобилей представляет собой смесь пропана, нормального бутана, изобутана, пропилена, этана, этилена и других углеводородов. Его получают как продукт переработки нефти на нефтеперерабатывающих заводах или при добыче нефти и природного газа в виде отдельной жидкой фракции.

Компонентный состав сжиженного нефтяного газа регламентируется ГОСТ 25578 - 87 «Газы сжиженные нефтяные. Топливо для газобаллонных автомобилей. Технические условия».

Стандарт предусматривает две марки газа: зимнюю - ПА (пропан автомобильный) и летнюю - ПБА (пропан-бутановая смесь автомобильная). В марке ПА содержится  $90 \pm 10$  % пропана, в марке ПБА –  $50 \pm 10$  % пропана, остальное - бутан, не более 1 % непредельных углеводородов. В газе сжиженном нефтяном марки ПА давление насыщенных паров при температуре - 35 °С не менее 0,07 МПа (избыточное), в газе марки ПБА при температуре + 45 °С - не более 1,6 МПа, а при температуре - 20 °С - не менее 0,07 МПа. Давление газа в баллоне практически не зависит от его количества.

На автомобильные газонаполнительные станции часто поступает газ зимней и летней марок по ГОСТ 20448 - 90 «Газы углеводородные сжиженные для коммунально-бытового и промышленного потребления. Технические условия». Этот ГОСТ имеет более широкие допуски на содержание компонентов, в том числе вредных с точки зрения воздействия на двигатель и топливную аппаратуру (например, серу и ее соединения, непредельные углеводороды и др.). По этим техническим условиям поступают ГСН двух марок: смесь пропан-бутановая зимняя (СПБТЗ) и смесь пропан-бутановая летняя (СПБТЛ), показатели которых представлены в табл. 2.2.

В ГСН, поставляемом для автомобильного транспорта, по техническим причинам может содержаться некоторое количество масла, поступающего из компрессоров и насосов. Примеси в ГСН масла, тяжелых остатков адсорбируются на резинотехнических изделиях газовой аппаратуры, что отрицательно сказывается на надежности ее работы.

Запасы и объемы добычи природного газа значительно превышают эти показатели сжиженного газа.

Основным компонентом компримированного природного газа является метан (до 95 %). На АГНКС поступает КПГ в соответствии с ГОСТ 27577 - 2000, который определяет теплоту сгорания 31,8 МДж/м<sup>3</sup>, содержание механических примесей не более 1 мг/м<sup>3</sup> и паров воды не более 9 мг/м<sup>3</sup> и ряд других показателей.

Таблица 2.2

## Показатели ГСН

Показатель	ГСН	
	СПБТЗ	СПБТЛ
Компонентный состав по массе, %: метан, этан, этилен, не более	4	6
пропан и пропилен, не более	75	34
бутаны и бутилен, не более	20	60
Жидкий остаток, %, при температуре + 20 °С, не более	1	2
Давление насыщенных паров (избыточное), МПа, при температуре: + 45 °С, не более	1,6	1,6
- 20 °С, не менее	0,16	-
Содержание сероводорода, %, не более	5	5
Содержание общей серы, %, не более	0,015	0,015
Запах должен ощущаться при содержании газа, %	0,5	0,4

В табл. 2.3 представлен состав природного газа в соответствии с ГОСТ 27577-2000.

Таблица 3.2

## Состав природного газа в соответствии с ГОСТ 27577-2000

Объемная теплота сгорания, низшая, кДж/м <sup>3</sup>	Не менее 31800	По ГОСТ 22667-82
Относительная плотность к воздуху	0,55...0,70	По ГОСТ 22667-82
Расчетное октановое число (по моторному методу)	Не менее 105	По ГОСТ 27577-85
Концентрация сероводорода, г/м <sup>3</sup>	Не более 0,02	По ГОСТ 22387.2-97
Концентрация меркаптановой серы, г/м <sup>3</sup>	Не более 0,036	По ГОСТ 22387.2-97
Масса механических примесей в 1 м <sup>3</sup> , мг	Не более 1,0	По ГОСТ 22387.4-77
Суммарная объемная доля негорючих компонентов, %	Не более 7,0	По ГОСТ 23781-87
Объемная доля кислорода, %	Не более 1,0	По ГОСТ 23781-87
Концентрация паров воды, мг/м <sup>3</sup>	Не более 9,0	По ГОСТ 20060-83