

УДК 662.2:614.84

doi: 10.37657/vniipo.avpb.2022.21.23.002

ПОЖАРООПАСНОСТЬ ГАЗОБАЛЛОННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Леонид Петрович Вогман, Владимир Александрович Зуйков, Александр Владимирович Зуйков, Евгений Евгеньевич Простов

Всероссийский ордена "Знак Почета" научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России), г. Балашиха, Московская область, Россия.

Аннотация. Выполнен сравнительный анализ пожаровзрывоопасности сжиженных и компримированных газов, применяемых в настоящее время и перспективных в качестве топлив для газобаллонных автомобилей. Исследованы условия, при которых наиболее часто возникают аварийные ситуации в газобаллонных автомобилях. Одной из главных причин возникновения пожаров является нарушение правил устройства и эксплуатации газобаллонного оборудования автомобилей.

Ключевые слова: сжиженные углеводородные топлива, газобаллонный автомобиль, пожарная опасность

Для цитирования: Вогман Л.П., Зуйков В.А., Зуйков А.В., Простов Е.Е. Пожароопасность газобаллонных автомобилей // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2022. № 1 (11). С. 11–22. <https://doi.org/10.37657/vniipo.avpb.2022.21.23.002>.

FIRE HAZARD OF COMPRESSED GAS VEHICLES

Leonid P. Vogman, Vladimir A. Zuykov, Aleksandr V. Zuykov, Evgeny E. Prostov

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.

Abstract. There is carried out the comparative analysis of the fire and explosion hazard of liquefied and compressed gases that are currently used and are promising as fuels for compressed gas vehicles. There are investigated the conditions of frequent emergencies in compressed gas vehicles. The violation of rules for installation and operation of compressed gas equipment of vehicles is one of the main causes of fires.

Keywords: liquefied hydrocarbon fuels, compressed gas vehicle, fire hazard

For citation: Vogman L.P., Zuykov V.A., Zuykov A.V., Prostov E.E. Fire hazard of compressed gas vehicles // Current Fire Safety Issues. 2022:(1):11-22. <https://doi.org/10.37657/vniipo.avpb.2022.21.23.002>.

Введение

В отечественной практике газ в качестве моторного топлива применяется более восьмидесяти лет. В начале века парк газобаллонных автомобилей (ГБА), работающих на компримированном природном (КПГ) или сжиженном природном (СПГ) газе, а также на сжиженном углеводородном газе (СУГ), на-

считывал около 400 тысяч автомобилей, и их количество продолжает активно увеличиваться вплоть до настоящего времени.

В отечественной практике газ в качестве моторного топлива применяется более восьмидесяти лет. В начале века парк ГБА насчитывал около 400 тысяч автомобилей, и их количество продолжает активно увеличиваться вплоть до настоящего времени [1–3].

Преимуществами газов, находящихся в сжиженном состоянии, по сравнению с компримированными газами, являются большая концентрация тепловой энергии в единице объема, значительно меньшее требуемое рабочее давление, на которое рассчитан баллон, и, соответственно, меньшие требуемые прочность и толщина стенок баллона и запорной арматуры [3–6]. Вследствие этого значительно уменьшается масса баллонов на ГБА.

СУГ представляет собой смесь пропана, бутана, изобутана, пропилена, этана, этилена и других фракций и вырабатывается как продукт, получаемый при добыче нефти и природного газа в виде отдельной жидкой фракции, а также в результате переработки нефти на нефтеперерабатывающих заводах.

Пропан и бутан тяжелее воздуха и, следовательно, представляют большую опасность по сравнению с водородом и метаном с точки зрения формирования зон газонасыщенности в случае возникновения пожароопасных ситуаций на автотранспортных предприятиях, связанных с разгерметизацией технологического оборудования и последующим поступлением продукта в объем помещения. Пропан и бутан могут храниться в сжиженном состоянии в диапазоне рабочих температур от минус 40 до плюс 45 °С при относительно низком давлении (до 1,6 МПа).

Состав СУГ регламентируется ГОСТ 27578-87 «Газы углеводородные сжиженные для автомобильного транспорта. Технические условия». Стандарт предусматривает две марки топлива: зимнюю – ПА (пропан автомобильный) и летнюю – ПБА (пропан-бутан автомобильный). В марке ПА содержится (90 ± 10) % (масс.) пропана, в марке ПБА – (50 ± 10) % (масс.) пропана, остальное – бутан и не более 1 % (масс.) непредельных углеводородов. СПГ и КПГ на 95 % (масс.) состоят из метана, в остальные 5 % входят этан, пропан, бутан, азот.

СПГ представляет собой жидкость без запаха и цвета плотностью 0,41–0,5 кг/л в зависимости от температуры, давления и содержания высших алканов (плотность чистого метана при температуре кипения – 0,41 кг/л, при повышении давления и понижении температуры плотность растет, примеси высших алканов также повышают плотность). Не токсичен. Температура кипения от минус 158 до минус 163 °С. В процессе обработки природный газ очищают от воды, диоксида серы, диоксида углерода и т. п.

Цель работы заключается в сравнительном анализе физико-химических и пожароопасных свойств горючих газов, применяемых на действующих и перспективных газобаллонных автомобилях, исследовании на основе статистики аварий ГБА и установлении причин этих аварий. При изучении пожаровзрывоопасности ГБА, работающих на компримированных и сжиженных видах топлив, наряду с упомянутыми были использованы отечественные и зарубежные нормативные акты и документы:

- ГОСТ 34601–2019 «Автомобильные транспортные средства, работающие на сжиженном природном газе. Криогенные системы питания. Технические требования и методы испытаний»;

- ГОСТ 34602–2019 «Автомобильные транспортные средства, использую-

щие газ в качестве моторного топлива. Общие технические требования к эксплуатации на сжиженном природном газе, техника безопасности и методы испытаний»;

- справочник «Ликвидация последствий аварий и эвакуация транспортных средств, работающих на сжиженном природном газе» (Германия, Немецкое энергетическое агентство. Издательство «Dena», 2021);

- PGS 26: КПГ и СПГ Руководство по безопасному коммерческому хранению, обслуживанию и ремонту автотранспортных средств (Нидерланды, 2021);

- NFPA 30A «Code for Motor Fuel Dispensing Facilities and Repair Garages» (США, 2019);

- NFPA 52 «Vehicular Natural Gas Fuel Systems Code» (США, 2019).

Сравнительный анализ физико-химических и пожароопасных свойств горючих газов, применяемых на действующих и перспективных газобаллонных автомобилях

Представляет интерес провести сравнение и анализ физико-химических и пожароопасных свойств горючих газов и паров бензина, которые применяются или являются перспективными для использования в газобаллонных автомобилях (ГБА) и влияющие на распределение их в замкнутом объеме при утечках.

В табл. 1 представлены данные физико-химических и пожароопасных свойств горючих газов [7, 8], применяемые или перспективные в качестве топлива ГБА: водорода, метана, пропана, бутана. Для сравнения в таблице приводятся сведения и о бензине.

Таблица 1

Физико-химические и пожароопасные свойства горючих газов [7, 8]: водорода, метана, пропана, бутана, бензина (ж)

Показатель	H ₂	CH ₄	C ₄ H ₁₀ бутан	C ₃ H ₈ пропан	Бензин (ж) C ₇ H ₁₆ (C ₈ H ₁₈)
Молекулярная масса	2,016	16,043	58,123	44,096	72–128 (ср. 129)
Плотность газовой фазы при 20 °С и 101,3 кПа, кг/м ³	0,0837	0,668	2,7	1,86	722–806
Температура кипения, °С	– 252,8	от – 158 до – 163	– 0,5	– 42,06	38–204
Плотность по воздуху	0,0695	0,554	2,004 (расчет)	2,0665	2,5–4 (ср. 3,4)
Теплота сгорания, МДж/кг	120	49,94	45,71	46,35	45,8–47,6
Температура самовоспламенения, °С	410–590	545–800	405	470	255–492
НКПР*, % (об.)	4	5–5,28	1,8	2,3	0,76
ВКПР**, % (об.)	75	14,1–15	9,1	9,4	8,12
Температура пламени, °С	2400	1960			~1200
Нормальная скорость горения, м/с	2,7–3,05	0,34–0,37	0,45	0,39	0,44–0,45
Минимальная энергия зажигания, мДж	0,017	0,29	0,25	0,25	0,23–0,46

*Нижний концентрационный предел распространения пламени.

**Верхний концентрационный предел распространения пламени.

Из далеко неполных данных показателей физико-химических и пожароопасных свойств, представленных в табл. 1, видны существенные различия в физико-химических свойствах газов. Следует выделить важные сведения о летучести (по показателю плотности газов и паров бензина при нормальных температуре и давлении). Наиболее летучим газом является водород, а также метан. Можно ожидать, что в отличие от пропана, бутана и паров бензина при утечках этих газов распределение их в замкнутом объеме будет более равномерным по объему, они будут рассеиваться в окружающей среде или аккумулироваться в верхней (припотолочной) зоне отсека автомобиля или помещения, в котором он находится. При наличии вентиляции водород и метан будут легче удаляться в атмосферу. С точки зрения пожарной безопасности эти свойства легколетучих газов по сравнению с пропаном, бутаном и бензином благоприятствуют снижению вероятности создания в ГБА или в помещении гаража локальных взрывоопасных объемов.

Использование в качестве моторного топлива природного газа (КПГ и СПГ) имеет ряд преимуществ по сравнению с «традиционными» жидкими видами моторных топлив. Метан наиболее экологический вид углеводородных топлив, полностью сгорает с образованием углекислого газа и водяного пара без твердых частиц и золы. Поэтому нет отложений в топливной системе, не происходит смывания масляной пленки со стенок цилиндров. Это в конечном счете приводит к снижению износа цилиндро-поршневой группы в частности и двигателя в целом. Таким образом, использование природного газа в качестве моторного топлива по сравнению с «традиционными» видами моторных топлив позволяет увеличить срок службы двигателя.

Кроме того, СПГ в результате сжижения уменьшается в объеме в 600 раз (по сравнению с нормальными условиями), что является одним из важных преимуществ этого топлива по отношению к другим видам углеводородных топлив, и определяет сферу его возможного применения: автобусы, магистральные тягачи, карьерные самосвалы, то есть в тех транспортных средствах, где топливные емкости должны занимать как можно меньше места (один и тот же объем вмещает массу СПГ в три раза больше, чем КПГ).

Природный газ легче воздуха в атмосферных условиях при температуре окружающей среды, поэтому при выбросе он поднимается и рассеивается. Относительная плотность пара (отпарного газа) к воздуху составляет 0,64–1,2. С другой стороны, холодные пары СПГ тяжелее воздуха (примерно от $-113\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше пар легче воздуха).

Таким образом, в зависимости от времени (от начала утечки, пролива), свойств грунта, температуры окружающей среды СПГ (его пары) испаряется с различной скоростью.

Холодный газообразный СПГ ($-162\text{ }^{\circ}\text{C}$) имеет относительную плотность примерно 1,2 при атмосферном давлении. Так как пар тяжелее воздуха, при утечке он останется у земли и будет накапливаться в низко расположенных и плохо вентилируемых местах, вытесняя окружающий воздух и вызывая удушье. В зависимости от условий окружающей среды и погодных условий этот эффект может возникать на довольно большом расстоянии от места утечки.

Когда СПГ попадает в грунт или в жидкость, это влияет на скорость перехода СПГ в газообразное состояние. Там, где СПГ касается поверхности, происходит интенсивный процесс фазового перехода. Скорость испарения быстро уменьшается до постоянного значения, определяемого тепловыми характеристиками поверхности, например, почвы или жидкости, и температурой окружающей среды.

Во время испарения большого количества выпущенного СПГ холодные пары будут конденсировать водяной пар в воздухе. Это может сопровождаться образованием белого облака тумана до тех пор, пока газ не нагреется, не разбавится и не растворится в окружающем воздухе.

Видимость облака СПГ зависит от температуры и влажности воздуха, а также от того, исходит ли пар СПГ из пролива или из струи жидкости СПГ. При влажности выше 50 % легко воспламеняющееся облако находится полностью внутри видимого облака. При более низкой влажности легко воспламеняющееся облако может выйти за пределы видимого облака. Это означает, что пар может воспламениться, если источник возгорания находится за пределами видимого облака. Размер облака пара зависит от скорости, направления ветра и других погодных условий и может быть легко предсказан с помощью правильных расчетов. Холодный пар начинает подниматься, поскольку он нагревается наружным воздухом до температуры выше $-113\text{ }^{\circ}\text{C}$. Из-за атмосферных условий температура, при которой происходит подъем пара, может быть значительно выше.

Небольшие количества СПГ могут быть преобразованы в большие количества газа при возникновении утечки. Единица объема СПГ преобразуется в 570–590 единиц объема газа в зависимости от состава газа (% CH_4 в газе) при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и атмосферном давлении 101,325 кПа.

В случае утечки жидкого СПГ в атмосферу, он закипает и постепенно переходит в газообразное состояние. В результате конденсации образуется хорошо видимый белый туман. СПГ сначала распространяется по земле, так как при температуре ниже $-135\text{ }^{\circ}\text{C}$ он тяжелее воздуха. Постепенно СПГ нагревается, что приводит к уменьшению его плотности. При нормальных атмосферных условиях СПГ полностью испаряется и переходит в газообразное состояние.

Испарение СПГ происходит очень быстро, практически мгновенно. При этом в процессе нагрева образуется хорошо видимый белый туман.

Сразу после испарения СПГ по причине низкой температуры имеет более высокую плотность, чем при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, и поэтому первоначально распространяется над поверхностью земли. Здесь же в течение длительного времени наблюдается наибольшая концентрация облака. В зависимости от температуры изменяется его плотность:

- при температуре ниже $-135\text{ }^{\circ}\text{C}$ газ тяжелее воздуха, он стелется над поверхностью грунта;

- в диапазоне от -135 до $-105\text{ }^{\circ}\text{C}$ вес газа равен весу воздуха;

- при температуре выше $-105\text{ }^{\circ}\text{C}$ СПГ становится легче воздуха, но в большинстве случаев смешивается с воздухом и может образовывать взрывоопасные смеси.

СУГ (пропан-бутановая смесь) в условиях эксплуатации во многом удобнее, например, природного газа метана, так как в отличие от метана сжижается при комнатной температуре и сравнительно невысоком давлении ($12\text{--}15 \times 10^2$ кПа). Метан при комнатной температуре не сжижается, и его приходится хранить сжатым под высоким давлением ($200\text{--}250 \times 10^2$ кПа), либо транспортировать в жидком виде при криогенных температурах. Поэтому баллоны для СУГ значительно легче и дешевле метановых и содержат гораздо больше газа (например, 50-литровый метановый баллон весит 55 кг и вмещает 9 кг газа, а пропан-бутан такого же объема весит 19 кг и вмещает 22 кг газа). Кроме того, баллон для метана в 3–4 раза дороже (композитные баллоны в 2–3 раза легче, но они в несколько раз дороже металлических). Это делает пропан гораздо более удобным для хранения и транспортировки, поэтому пропан-бутан широко применяется для подключения переносного газового оборудования (переносные газовые плит-

ки, газовые горелки для кровельных работ и т. д.), в качестве автомобильного топлива, а также для газификации небольших отдаленных населенных пунктов или отдельных зданий, для которых строительство газопровода природного газа экономически нецелесообразно. Состав смеси (сжиженного газа) СУГ, которая используется в качестве топлива для коммунально-бытового потребления, ограничивается упругостью пара 1,6 МПа при температуре 45 °С. При этом обеспечивается достаточная летучесть газового топлива (ГОСТ 20448–90. Газы углеводородные сжиженные топливные для коммунально-бытового потребления).

Пожаровзрывоопасность газобаллонных автомобилей и газобаллонного оборудования, работающих на компримированном и сжиженном природном и углеводородном газе

В настоящее время в стране проведены исследования и накоплен опыт эксплуатации автомобилей, работающих на СУГ. К сожалению, отсутствуют исследования и наработки, связанные с эксплуатацией автомобилей на СПГ. Поэтому в дальнейшем будем оперировать результатами исследований и статистическими данными пожаров и взрывов ГБА, работающих на СУГ.

По мнению авторов статьи [9], исходя из полученных показателей аварийности ГБА и проведенного анализа, можно сделать вывод, что ГБА могут эксплуатироваться практически также безопасно, как дизельные автомобили.

Безопасность баллона с газом зависит от широкого спектра факторов, в том числе:

- качества производимой продукции (баллонов);
- конструкции и правильности монтажа;
- правильной эксплуатации и своевременного технического обслуживания;
- контроля за установленным газобаллонным оборудованием (ГБО) и проверкой квалификации проверяющего персонала;
- разработанных мер безопасности для автозаправочных станций, автомастерских и парковок и т. д.

По результатам проведенного анализа [10] можно сделать вывод, что наиболее вероятной причиной утечек газа в ГБА является:

- низкое качество элементов ГБО (использование поддельных или восстановленных не должным образом элементов ГБО);
- самостоятельная модификация элементов ГБО;
- несоблюдение сроков эксплуатации элементов ГБО;
- повреждение в результате аварии наиболее опасных элементов ГБО (баллон, трубопровод высокого давления, мультиклапан, блок вентиляции).

Наиболее опасным элементом из элементов системы ГБО является баллон с газом. В течение девятилетнего периода в США с 1993 по 2001 г. было зафиксировано примерно 448 000 автомобильных аварий ГБА, из них восемь связаны с разрывами баллонов. Три из восьми аварий баллонов с КПГ до 2002 года были вызваны разрушением вследствие их коррозии. Четыре других баллона разорвались из-за серьезных физических повреждений, один баллон вышел из строя из-за избыточного давления. Зафиксированы случаи, когда при аварии баллона с газом было повреждено и устройство аварийного сброса удаляемого газа, в результате чего возникло открытое пламя и факельное горение [11].

Для определения опасности возникновения пожара на ГБА необходимо определить частоту возникновения пожара, которую в дальнейшем можно будет использовать при расчете пожарного риска для объектов хранения и обслуживания ГБА.

С 2015 года ФГБУ ВНИИПО МЧС России ведет статистику пожаров по

Российской Федерации по видам газового оборудования (установки, приборы, устройства), ставшего источником пожара, и причинам пожаров. Благодаря этому можно проанализировать статистические данные и сделать выводы о частоте и причинах пожаров, связанных с ГБО. Следует отметить, что одной из главных причин возникновения пожаров на автомобилях является нарушение правил устройства и эксплуатации (далее – НПУиЭ) транспортных средств и НПУиЭ газового оборудования. Также необходимо отметить, что статистические данные по возникновению пожаров на ГБА за 2015–2020 гг. являются репрезентативными для оценки частот возникновения пожара в результате разгерметизации современного ГБО.

Ниже представлены результаты исследований, выполненных во ВНИИПО МЧС России в последние годы [12].

НПУиЭ транспортных средств включают в себя:

- неисправность систем, механизмов и узлов транспортного средства (за исключением газового оборудования);
- прочие причины, связанные с НПУиЭ транспортных средств;
- неисправность электрооборудования транспортного средства.

НПУиЭ газового оборудования включают в себя:

- недостатки конструкции и изготовления газового оборудования;
- нарушение правил пожарной безопасности при эксплуатации газового оборудования;
- нарушение правил монтажа газового оборудования;
- прочие причины, связанные с НПУиЭ газового оборудования.

На рис. 1 представлены данные о пожарах в результате разгерметизации ГБО автотранспортных средств.

Пожары из-за разгерметизации ГБО транспортных средств

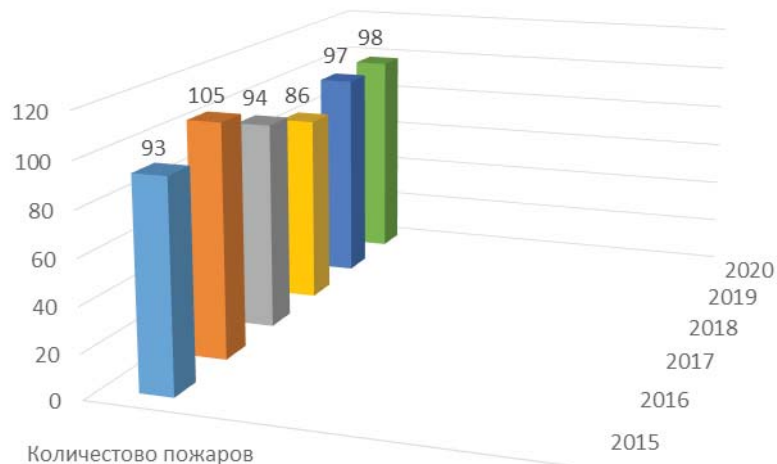


Рис. 1. Пожары, причиной которых стала разгерметизация ГБО транспортных средств

Как следует из рис. 1, количество пожаров в результате разгерметизации ГБО автотранспортных средств в течение последних шести лет у нас в стране остается примерно на одном уровне. По данным [12] эта причина является преобладающей среди причин аварий с пожарами ГБА и составляет 60 %.

В период 2015–2020 гг. в России было зафиксировано 1858 пожаров газовых баллонов (вне зависимости от того, на каком оборудовании они использовались).

По данным [10], находящееся в эксплуатации количество стальных сварных баллонов в России, составляет 40 млн штук.

Пожары газовых баллонов в России в период 2015–2020 гг. произошли вследствие НПУиЭ газового оборудования (1269 пожара). Указанные пожары произошли по 4 основным причинам:

- недостатки конструкции и изготовления газового оборудования (156 пожаров);
- нарушение правил пожарной безопасности при эксплуатации газового оборудования (662 пожара);
- нарушение правил монтажа газового оборудования (69 пожаров);
- прочие причины, связанные с НПУиЭ газового оборудования (382 пожара).

С учетом сведений, полученных в МВД РФ и официально переданных во ВНИИПО, в табл. 2 представлены данные о причинах и количестве пожаров транспортных средств в период 2015–2020 гг.

Таблица 2

Причины и количество пожаров на различных транспортных средствах в России за период 2015–2020 гг.

Транспортное средство	НПУиЭ транспортных средств	НПУиЭ газового оборудования	Поджог	Другие причины
Грузовые автомобили	784	52	150	191
Автобусы	374	17	57	57
Легковые автомобили	2541	141	768	647

Как следует из табл. 2, среди автомобилей на газовом оборудовании наибольшее количество пожаров за исследуемый период произошло на легковых автомобилях.

Исходя из данных табл. 2 и известных данных об авариях на транспорте и количеству автомобилей, установлена (табл. 3) частота возникновения пожара в России при НПУиЭ газового оборудования на транспорте, работающем на КППГ и СУГ.

Таблица 3

Частота возникновения пожара в России при НПУиЭ газового оборудования на транспорте, работающем на КППГ и СУГ

Год	Легковые автомобили, 1/год	Грузовые автомобили, 1/год	Автобусы, 1/год
2015	$8,3 \times 10^{-6}$	$2,8 \times 10^{-5}$	$1,85 \times 10^{-5}$
2016	$1,6 \times 10^{-5}$	$3,4 \times 10^{-5}$	$8,9 \times 10^{-5}$
2017	$1,3 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-5}$
2018	$9,1 \times 10^{-6}$	$2,1 \times 10^{-5}$	$4,4 \times 10^{-5}$
2019	$1,3 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-5}$	$8,4 \times 10^{-5}$
2020	$1,6 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-5}$
Средняя частота	$1,26 \times 10^{-5}$	$2,32 \times 10^{-5}$	$4,4 \times 10^{-5}$

Как следует из данных табл. 3, частота возникновения пожара в России при НПУиЭ газового оборудования на транспорте, работающем на КППГ и СУГ, превышает величину нормативного риска, равного 10^{-6} /год. Эта величина будет еще

ниже при учете значения индивидуального риска.

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод о том, что наибольшее количество аварий (более 90 %) и пожаров в России на ГБА возникает из-за человеческого фактора (отвлечение внимания водителя или его ошибки), а также нарушения правил пожарной безопасности при эксплуатации газового оборудования, нарушения правил монтажа газового оборудования, неправильного или несвоевременного обслуживания ГБО и т. д. И только 10 % аварий связаны с неисправностью транспортного средства, включая неисправности ГБО [9].

На рис. 2 представлено типовое дерево событий, сопровождающих аварии или пожары на ГБА, при разгерметизации газобаллонного оборудования.



Рис. 2. Типовое дерево событий при аварии автомобиля на газомоторном топливе

Как видно из рис. 2, аварии могут сопровождаться пожарами или отсутствием таковых при определенных условиях.

Из выполненного анализа следует, что аварии ГБА с участием СПГ, КПГ или СУГ могут характеризоваться небольшими утечками жидкой фазы или газовой среды. Большие утечки топлива, как следует из статистических данных, маловероятны. При больших утечках жидкой фазы и ее воспламенении, если это произойдет, следует создать условия безопасного для окружающей среды полного выгорания топлива при контроле за нераспространением горения за пределы зоны горения. В соответствии с такой концепцией должны осуществляться выбор средств и способ пожаротушения ГБА.

Заключение

Выполнен анализ пожаровзрывоопасности сжиженных и компримированных горючих газов (метан, пропан, бутан, водород) и для сравнения бензина, а также аварийности газобаллонных автомобилей.

Наиболее летучим газом является водород, а также метан. Можно ожидать, что, в отличие от пропана, бутана и паров бензина, при утечках этих газов распределение их в замкнутом объеме будет более равномерным по объему, они будут рассеиваться в окружающей среде или аккумулироваться в верхней (припотолочной) зоне отсека автомобиля или помещения, в котором он находится. При наличии вентиляции водород и метан будут легче удаляться в атмосферу. С точки зрения пожарной безопасности эти свойства легколетучих газов по сравнению с пропаном, бутаном и бензином благоприятствуют снижению вероятности создания в ГБА или в помещении гаража локальных взрывоопасных объемов.

Использование в качестве моторного топлива природного газа (КПГ и СПГ) имеет ряд преимуществ по сравнению с «традиционными» жидкими видами моторных топлив. Метан наиболее экологический вид углеводородных топлив, полностью сгорает с образованием углекислого газа и водяного пара без твердых частиц и золы. Поэтому нет отложений в топливной системе, не происходит смывания масляной пленки со стенок цилиндров. Это в конечном счете приводит к снижению износа цилиндро-поршневой группы в частности и двигателя в целом. Таким образом, использование природного газа в качестве моторного топлива по сравнению с «традиционными» видами моторных топлив позволяет увеличить срок службы двигателя. Кроме того, СПГ в результате сжижения уменьшается в объеме в 600 раз (по сравнению с нормальными условиями), что является одним из важных преимуществ этого топлива по отношению к другим видам углеводородных топлив, и определяет сферу его возможного применения: автобусы, магистральные тягачи, карьерные самосвалы, то есть в тех транспортных средствах, где топливные емкости должны занимать как можно меньше места (один и тот же объем вмещает массу СПГ в три раза больше, чем КПГ).

Природный газ легче воздуха в атмосферных условиях при температуре окружающей среды, поэтому при выбросе он поднимается и рассеивается. Относительная плотность пара (отпарного газа) к воздуху составляет 0,64–1,2. С другой стороны, холодные пары СПГ тяжелее воздуха (примерно от $-113\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше пар легче воздуха).

Таким образом, в зависимости от времени (от начала утечки, пролива), свойств грунта, температуры окружающей среды СПГ (его пары) испаряется с различной скоростью.

СУГ (пропан-бутановая смесь) в условиях эксплуатации во многом удобнее,

например, природного газа метана, так как в отличие от метана сжижается при комнатной температуре и сравнительно невысоком давлении ($12\text{--}15 \times 10^2$ кПа). Однако это топливо уступает водороду и метану по экологичности, более высокой опасности образования газоздушных смесей благодаря высокой плотности пропана и бутана, а также благодаря тому, что из единицы объема водорода и метана получают при сжижении существенно большее количество топлива, чем при сжижении СУГ.

Аварии ГБА с участием СПГ, КПГ или СУГ могут характеризоваться небольшими утечками жидкой фазы или газовой среды. Большие утечки топлива, как следует из статистических данных, маловероятны. При больших утечках жидкой фазы и ее воспламенении, если это произойдет, следует создать условия безопасного для окружающей среды полного выгорания топлива при контроле за нераспространением горения за пределы зоны горения. В соответствии с такой концепцией должны осуществляться выбор и обоснование средств и способ пожаротушения ГБА.

Список литературы

1. Уютов С.Ю., Савельев Г.С., Прядкин В.И. Обзор зарубежных разработок по конвертации дизелей в газ-искровый двигатель // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2014. № 1. С. 74–76.
2. Савельев Г.С., Кочетков М.Н., Овчинников Е.В. Комплексное использование газомоторного топлива в сельскохозяйственном производстве // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. М.: ВИМ, 2014. С. 136–140.
3. Айсанова Ж.А. Применение сжиженного природного газа в качестве моторного топлива // Инновации и инвестиции. 2021. № 6. С. 203–206.
4. Природный газ как моторное топливо на транспорте / Ф.Г. Гайнуллин, А.И. Гриценко, Ю.Н. Васильев, Л.С. Золотаревский. М.: Недра, 1986. 255 с.
5. Мировая индустрия и рынки сжиженного природного газа: прогнозное моделирование / В.С. Возк, А.И. Новиков, А.И. Глаголев, Ю.Н. Орлов, В.К. Бычков, Д.А. Удалов. М.: Газпром экспо, 2009. 311 с.
6. Майорец М., Симонов К. Сжиженный газ – будущее мировой энергетики. М.: Альпина Паблишер, 2013. 360 с.
7. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник в 2 кн. Под ред. А.Н. Баратова и А.Я. Корольченко. М.: Химия, 1990.
8. Таубкин С.И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы. М.: ВНИИПО, 1999. 599 с.
9. Овчинникова Л.А., Назымов Е.В. Пожарная безопасность помещений хранения и технического обслуживания газобаллонных автомобилей: сб. трудов науч.-практ. конф. преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов Новосибирского ГАУ. Вып. 3. Том 1. С. 172–176.
10. Плотникова Г.В., Бодров Д.А. Взрывы газовых баллонов, причины и последствия [Электронный ресурс] // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. 2013. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vzryvy-gazovyh-ballonov-prichiny-i-posledstviya> (дата обращения: 20.01.2022 г.).
11. Brecher A., Epstein A.K. & Breck A. Review and analysis of potential safety

impacts of and regulatory barriers to fuel efficiency technologies and alternative fuels in medium- and heavy-duty vehicles (Report No. DOT HS 812 159). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration (2015, June).

12. *Простов Е.Е., Простов Е.Н., Гордиенко Д.М.* Определение частоты возникновения пожара в России на транспорте, работающем на КПП и СУГ // Пожарная безопасность. 2021. № 3 (104). С. 24–31.

**Статья поступила в редакцию 18.01.2022;
одобрена после рецензирования 03.02.2022;
принята к публикации 11.02.2022.**

Вогман Леонид Петрович – доктор технических наук, главный научный сотрудник. E-mail: vniipo-3.5.3@yandex.ru; **Зуйков Владимир Александрович** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: vniipo-3.5.3@yandex.ru; **Зуйков Александр Владимирович** – научный сотрудник. E-mail: vniipo-3.5.3@yandex.ru; **Простов Евгений Евгеньевич** – старший научный сотрудник. E-mail: vniipo-3.5.3@yandex.ru.

Всероссийский ордена “Знак Почета” научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России), г. Балашиха, Московская область, Россия.

Leonid P. Vogman – Doctor of Technical Sciences, Main Researcher. E-mail: vniipo-3.5.3@yandex.ru; **Vladimir A. Zuykov** – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher. E-mail: vniipo-3.5.3@yandex.ru; **Aleksandr V. Zuykov** – Researcher. E-mail: vniipo-3.5.3@yandex.ru; **Evgeny E. Prostov** – Senior Researcher. E-mail: vniipo-3.5.3@yandex.ru.

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.