

Охрана окружающей среды

УДК 504.3.054:665.7(045)

Бойченко С.В., докт. техн. наук, проф., **Шкильнюк И.А.**,
Черняк Л.Н., канд. техн. наук, **Макаренко Ю.С.**, **Карелин Ю.В.**
Национальный авиационный университет, Киев

пр. Космонавта Комарова, 1, 03680 Киев, Украина, e-mail: aviationchemmology@rambler.ru

Экологические аспекты использования моторных топлив (Обзор)

Рассмотрены экологические аспекты использования нефтяных и альтернативных топлив. Показано общее воздействие транспортного сектора на экологические системы. Рассмотрены количественные показатели загрязнения окружающей среды различными видами транспорта. Проанализированы перспективы внедрения европейских норм выбросов для легковых автомобилей с дизельными и бензиновыми двигателями. Приведены экологические показатели различных видов нефтяных топлив. Представлены сравнительные характеристики их свойств. Проведен анализ преимуществ и недостатков использования газо-жидкостных топлив в качестве моторного топлива. *Библ. 25, табл. 6.*

Ключевые слова: моторные топлива, автомобильный бензин, дизельное топливо, газ.

Загрязнение воздуха стало большой социальной и экономической проблемой для многих развитых стран, особенно для мегаполисов. Одной из главных причин загрязнения окружающей среды является транспорт, особенно автомобильный [1, 2]. В некоторых городах его удельный вес в общем загрязнении превышает 50 %. На автомобильный транспорт приходится 55 % выбросов углеводородных соединений, 47 % оксидов углерода, 98,6 % оксидов азота от общего количества этих веществ, которые поступают в атмосферу Украины [1].

В состав выхлопных газов входит более 1000 разнообразных компонентов, из которых лишь 200 идентифицированы [6]. Автомобилями выбрасываются такие токсичные вещества: оксиды углерода, азота, серы, тяжелых металлов, канцерогенные и мутагенные соединения, альдегиды, углеводороды, аэрозоли, ан-

гидриды и др. За год легковой автомобиль забирает из атмосферного воздуха около 4 т кислорода, а вместо него выбрасывает 3 т углекислого и 0,5 т угарного газов, 90–150 кг несгоревших углеводородов, 40 кг оксидов азота [6].

Влияние транспортного сектора на экосистему возможно в следующих направлениях:

- использование воды для систем охлаждения двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и мытья транспортных средств;

- образование промышленных отходов (в том числе токсичных и радиоактивных), создание шума и вибрации;

- использование земельных ресурсов, выделяемых под создание инфраструктуры транспорта;

- загрязнение атмосферы, водных объектов и земель, изменение химического состава грунтов и микрофлоры (табл.1) (вклад разных

Таблица 1. Основные виды влияния на биосферу разных видов транспорта [1, 6]

Водные объекты	Почва	Выбросы в воздух	Флора и фауна	Человек
Автомобильный транспорт (87 %)				
Минерализация, засоление, нефтепродукты	Загрязнение тяжелыми металлами, органическими маслами, растворителями, засоление	CO, C _m H _n , NO _x , C, CO ₂	Нарушение грунтового покрова, загрязнения придорожной полосы	Заболевание органов дыхания, онкологические заболевания, уменьшения продолжительности жизни
Железнодорожный транспорт (8 %)				
Нефтепродукты, смолы, фенолы, ионы тяжелых металлов	Неочищенные стоки, растворители	CO, C _m H _n , NO _x , C, SO ₂ , зола, пыль	Уничтожения лесных и сельскохозяйственных угодий, изменение путей миграции животных	Хронические заболевания, профессиональные заболевания, уменьшение профессионального долголетия
Водный транспорт (2 %)				
Нефтепродукты, твердые и пищевые отходы, хозяйственно-бытовые стоки	Загрязнение прибрежной полосы нефтью и органическими отходами	CO, C _m H _n , NO _x , C, SO ₂	Снижение биопроductивности морей и рек	Профессиональные заболевания
Воздушный транспорт (1 %)				
Нефтепродукты	Органические и неорганические выбросы вблизи аэродромов	Газообразные органические выбросы	Разрушение геобиоценозов, прерывание путей миграции животных	Профессиональные заболевания в результате повышенного действия шума и электромагнитных излучений

видов транспорта в загрязнение окружающей среды [4]);

- выделение теплоты в окружающую среду во время работы ДВС и установок транспортных производств;

- травматизм и гибель людей, животных, нанесение материального ущерба во время аварий;

- разрушение почвенно-растительного слоя и уменьшение урожайности сельскохозяйственных культур;

- использование нефтепродуктов и природного газа как топлива для ДВС;

- использование атмосферного воздуха, который необходим для осуществления рабочих процессов в ДВС.

Во время эксплуатации автомобиля с ДВС источниками выбросов вредных веществ являются отработанные газы, картерные газы, испарения из систем питания (табл.2), неконтролируемый разлив на почву эксплуатационных материалов.

Влияние автомобильного транспорта на окружающую среду проявляется во время движения автомобилей, технического обслуживания

Таблица 2. Вредные выбросы автомобилей [7]

Выбросы	CO	C _m H _n	NO _x
Отработанные газы, %	95/98	55/90	98/98
Картерные газы, %	5/2	5/2	2/2
Испарение, %	0/0	40/8	0/0

Примечание. В числителе – бензиновый двигатель; в знаменателе – дизельный.

и функционирования инфраструктуры, обеспечивающей его действие. В отработанных газах автомобилей содержатся соли металлов, которые попадают в почву, поверхностные и грунтовые воды и поглощаются растениями, которые потребляет человек [8].

На сегодняшний день экологические требования к автомобилю и его двигателю являются приоритетными. Нормы выбросов от автотранспорта определены Директивами ЕС. Выбросы автомобилей сначала регулировались Директивами 70/220/ЕС (для легковых автомобилей) и 88/77/ЕС (для грузовых автомобилей). Впоследствии был принят ряд поправок к ним с целью поэтапного введения более жестких величин (Директивы 93/59/ЕС, 94/12/ЕС и 96/69/ЕС, 98/69/ЕС, 2002/80/ЕС, Положение ЕС № 715/2007) [9].

Директивой 2009/30/ЕС были внесены изменения в Директиву 98/70/ЕС по отношению к техническим требованиям к бензину, дизельному и газовому топливам и введению механизма мониторинга и сокращения парниковых газов. Целью данной Директивы является сокращение выбросов основных веществ, загрязняющих воздух в процессе производства и сжигания топлив [9, 10]. В 1992 г. страны ЕС ввели на своей территории экологический стандарт, который устанавливал максимальное содержание токсичных веществ в отработанных газах автомобилей (EURO-1) (табл.3). Каждые следующие 4–5 лет ЕС вводил еще более суровые нормы. Так возникли экологические

стандарты EURO-1, EURO-2, EURO-3, EURO-4, EURO-5 и EURO-6 [11]. Эти мероприятия были направлены на уменьшение выбросов вредных веществ в атмосферу, минимизацию их влияния на живую природу и человека, в частности. Ограничения касаются содержания оксидов углерода и азота, углеводородов и твердых частиц (сажи). Дизельные двигатели для грузовых автомобилей с 2000 г. (EURO-3) дополнительно проходят тест на дымность [12].

Вследствие катастрофического загрязнения окружающей среды продуктами сгорания топлив и возникновения парникового эффекта ведущими производителями топлив была принята Всемирная топливная хартия (World-wide fuel charter) — рекомендательный документ, который учитывает современные технические и экологические требования к топливам. Хартия устанавливает 4 категории рынков топлив с последовательным усилением требований относительно экологических показателей при переходе от I категории (с минимальными требованиями) к IV категории (с чрезвычайно высокими требованиями). Дополнительным требованием к бензинам является отсутствие в их составе металлов, фосфора и кремния [11]. Большинство нормативных показателей качества, которые рекомендует Всемирная топливная хартия, введены в государственные стандарты разных стран мира.

В связи с катастрофическим загрязнением окружающей среды продуктами сгорания топлив и возникновением парникового эффекта ведущими производителями топлив была принята Всемирная топливная хартия (World-wide fuel charter) — рекомендательный документ, который учитывает современные технические и экологические требования к топливам. Хартия устанавливает 4 категории рынков топлив с последовательным усилением требований относительно экологических показателей при переходе от I категории (с минимальными требованиями) к IV категории (с чрезвычайно высокими требованиями). Дополнительным требованием к бензинам является отсутствие в их составе металлов, фосфора и кремния [11].

Большинство нормативных показателей качества, которые рекомендует Всемирная топливная хартия, введены в государственные стандарты разных стран мира.

У двигателей автомобилей прошлых лет выпуска, особенно с карбюраторами, токсичность выхлопа непосредственно связана с техническим состоянием системы питания и зажигания, а также с их регулировкой. Поэтому ремонт двигателя, каким бы сложным он ни был, не может считаться квалифицированным и качественным, если токсичность выхлопа двигателя после ремонта превышает установленные допустимые пределы [7, 14].

Отработанные газы автомобиля содержат продукты полного и неполного сгорания нефтяных топлив, а также неорганические соединения веществ, находившихся в топливе [11–14]. Они крайне негативно влияют на здоровье человека. Опасность для человека представляет и автомобильный шум, так как он влияет на слух и на развитие гипертонии, язвы желудка и диабета [10].

Согласно исследованиям [1, 6], автопарк мира ежегодно выбрасывает в окружающую среду 480–800 млн т оксида углерода, что составляет 19 % мировых выбросов антропогенных и естественных источников вместе взятых, а также 19–29 млн т метана (7 %), 32–48 млн т других углеводородов (4 %), 17–21 млрд т диоксида углерода (2 %), 36–76 млн т диоксида азота (20–50 %), 162–198 млн т диоксида серы (45 %). По расчетам ученых [1, 15], за всю свою историю существования автотранспорт использовал 170 млрд м³ кислорода и выбросил в атмосферу 250 млрд м³ диоксида серы, что составляет 60–70 % от деятельности человека за последние 100 лет [1]. Автотранспорт выбрасывает также тяжелые металлы: никель, хром, ртуть, кадмий, цинк, железо, марганец, бериллий. Накопление тяжелых металлов в почве изменяет ее химические и биологические свойства. Металлы аккумулируются в живых организмах и попадают в пищевые цепочки. В атмосферном воздухе тяжелые металлы могут оста-

Таблица 3. Европейские нормы выбросов (г/км) для легковых автомобилей* [11, 12]

Стандарт	Дата внедрения	CO	HC	NO _x	HC + NO _x	Твердые частицы
EURO-1	Июль 1992 г.	2,72/2,72	–	–	0,97/0,97	0,14/–
EURO-2	Январь 1996 г.	1,0/2,3	–	–	0,70/0,50	0,08/–
EURO-3	Январь 2000 г.	0,64/2,2	–/0,20	0,50/–	0,56/–	0,05/–
EURO-4	Январь 2005 г.	0,50/1,0	–/0,10	0,25/–	0,30/–	0,025/–
EURO-5	Сентябрь 2009 г.	0,50/1,0	–/0,10	0,180/0,068	0,230/–	0,005/0,005**
EURO-6	Сентябрь 2014 г.	0,50/1,0	–/0,10	0,080/0,068	0,170/–	0,005/0,005**

* С дизельными (в числителе) и бензиновыми (в знаменателе) двигателями. ** Только для двигателей с непосредственным впрыскиванием.

ваться до 10 дней и переноситься на расстояние до 2000 км [14].

Анализ статистических данных [16] и оценок негативного влияния автомобильного транспорта на окружающую среду и население показывает, что общая сумма выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в странах СНГ ежегодно составляет около 21,2 млн т, из них 19,2 млн т (90 %) от автомобильного транспорта [15].

Если оценивать вклад автомобильного транспорта в общее загрязнение атмосферного воздуха в Украине, то его часть по оксиду углерода будет составлять 49 %, по углеводородам — 32 %, по оксидам азота — 20 %. Во многих городах нашей страны выбросы от автотранспорта составляют 60–90 % общего количества выбросов [6]. Состав отработанных газов автомобиля зависит от вида и качества топлива, присадок, масел, режимов работы двигателя, его технического состояния, условий движения автомобиля и других факторов [7, 14].

Основная часть вредных веществ, которые содержатся в отработанных газах дизельных двигателей и загрязняют окружающую среду, состоит из CO , NO_x , C_nH_m (или просто CH), а также углерода C (сажа). Из перечисленных веществ CO , CH и C являются продуктами неполного сгорания топлива. Количество NO_x в выхлопных газах связано в основном с высокой температурой сгорания. Оксиды азота образуются в двигателе во время взаимодействия кислорода и азота, которые содержатся в воздухе. Чем выше температура сгорания, тем больше образуется NO_x . На температуру сгорания влияют конструктивные факторы (например, степень сжатия) и режим работы двигателя (состав смеси, нагрузка).

У бензинового двигателя наибольшее влияние на образование вредных веществ оказывает состав смеси. В отличие от бензиновых двигателей дизели имеют существенно низший уровень выбросов CO , NO_x и CH . Наиболее низкий уровень выбросов CO и CH достигается обычно на режимах средних нагрузок (табл.4). Большие отличия в уровне и по характеру изменения выбросов в зависимости от состава смеси у дизелей по сравнению с бензиновыми двигателями связаны с иной природой процесса сгорания: у бензинового двигателя с помощью свечи поджигается хорошо перемешанная смесь воздуха и паров топлива, а в дизеле происходит самовоспламенение (в факеле распыляется топливо, в зонах с концентрацией топлива приблизительно $a = 1$ [15–17]).

В выхлопных газах дизеля присутствуют иногда в больших количествах частицы углерода (сажа). Это происходит из-за наличия зон

Таблица 4. Состав отработанных газов двигателей [14]

Компоненты отработанных газов, %	Бензиновый двигатель	Дизельный двигатель
Азот	74–77	74–78
Кислород	0,3–8,0	2,0–18
Водяной пар	2,0–5,5	0,5–9,0
Оксид углерода	0,5–12	0,005–0,4
Оксиды азота	0,01–0,8	0,004–0,6
Диоксид серы	–	0,002–0,02
Углеводороды	0,2–3,0	0,01–0,3
Альдегиды	0–0,2	0,001–0,009
Сажа, г/м ³	0–0,04	≤ 0,01–1,1

богатой смеси в струе распыления топлива. Сажевыделение дизеля создает характерный черный дым выхлопа и ограничивается нормами токсичности.

Дизельные двигатели выбрасывают в большом количестве сажу, которая в чистом виде является нетоксичной. Однако частицы сажи, имея высокую адсорбционную способность, несут на своей поверхности частицы токсичных веществ, в том числе и канцерогенных. Сажа может долгое время находиться во взвешенном состоянии в воздухе, увеличивая этим время действия токсичных веществ на человека [17].

Важнейшей экологической характеристикой дизельных топлив является наличие соединений серы. В результате этого негативного фактора требования к их содержанию постоянно ужесточаются: от 500 млн⁻¹ (в 1996 г.) до 50 млн⁻¹ (в 2005 г.) [11]. В 2010 г., в соответствии с европейскими стандартами EURO-5, максимальное содержание серы в бензине и дизельном топливе должно составлять 10 млн⁻¹ [18]. Одним из направлений улучшения экологических характеристик дизельных топлив является уменьшение в его составе соединений серы. Дизели чаще устанавливают на автомобилях повышенной грузоподъемности, хотя существует тенденция применять дизели на автомобилях средней и даже малой грузоподъемности [7].

Кроме загрязнения окружающей среды самим автотранспортом, на ее состояние влияет также и его сопутствующая инфраструктура. В первую очередь это касается открытых автостоянок, гаражных кооперативов и автозаправочных станций (АЗС), которые не оборудованы локальными сооружениями [14].

АЗС являются одним из главных составляющих инфраструктуры транспорта города. Они получают, хранят и реализуют моторные нефтяные топлива в больших количествах и поэтому являются серьезным источником загрязнения окружающей среды во время испарения топли-

ва и его разливов [4]. Для данных предприятий санитарно-защитная зона должна составлять 50–100 м, но в индустриально развитых городах с высокой плотностью населения эти нормы нарушаются [14].

Автомобильный транспорт является главным потребителем нефтяных моторных топлив. Увеличение количества автомобилей и мощности их двигателей приводит к увеличению потребления нефти. Пропорционально увеличиваются и вредные выбросы в атмосферу отработанных газов ДВС, которые растут из года в год и приобретают угрожающий характер. Автомобили дают до 90 % всех загрязнений воздушного бассейна больших городов высокотоксичными и канцерогенными соединениями. Решение отмеченных проблем отечественная и зарубежная наука и практика видят в использовании альтернативных моторных топлив для различных видов автомобильного и авиационного транспорта.

По прогнозам Международной организации гражданской авиации (ИКАО) [19], в 2005–2025 гг. общий спрос на воздушные перевозки каждый год будет расти в среднем на 4,8 %, что приведет к увеличению вдвое мирового парка воздушных судов (ВС). Из этого следует, что в период до 2025 г. объем пассажирских перевозок ВС увеличится более чем в 2 раза, а объем грузовых перевозок еще больше. Все это приведет к увеличению количества потребляемого авиацией топлива и, как следствие, к увеличению загрязнения воздуха отработанными газами. В результате авиатранспортных перевозок происходит также загрязнение почвы и водных объектов. Кроме того, авиация оказывает на окружающую среду значительное шумовое воздействие.

Особенности влияния авиации на окружающую среду связаны, во-первых, с тем, что современный парк самолетов и вертолетов имеет газотурбинные двигатели (ГТД). Поршневые двигатели остались у самолетов в сельскохозяйственной и спортивной авиации, а также у небольшого количества дельтапланов. Даже в США, где около 200 тыс. частных самолетов с ДВС, на них приходится лишь 5–6 % топлива, потребляемого авиацией. Во-вторых, ГТД используют авиакеросин, который в отличие от автомобильного бензина и дизельного топлива лучшего качества, так как содержит меньше серы и механических примесей. В-третьих, основная масса отработанных газов ВС выбрасывается непосредственно в воздушное пространство на относительно большой высоте, при высокой скорости и турбулентности потока, и только не-

большая часть — в непосредственной близости от аэропортов и населенных пунктов [7].

При горении керосина в окружающую среду, кроме диоксида углерода, водяного пара, азота, попадают такие загрязняющие вещества: оксид углерода, различные углеводороды C_xH_y ; оксиды азота (преимущественно NO и NO_2 , NO_x); оксиды серы, твердые частицы углерода в виде сажи, которая образуется при неполном сгорании керосина в исходном сопле авиационного двигателя, и некоторые другие вещества в незначительных количествах. Содержание серы в авиационном топливе строго лимитируется (не больше 0,3 % общей массы топлива), поэтому выбросы оксидов серы из авиадвигателей не контролируются и не нормируются.

Максимальные выбросы CO и C_xH_y образуются при наименьших значениях относительной тяги в силу того, что на режимах малого газа наименьшие значения имеют температура и давление воздуха в камере сгорания, которые определяют минимальную полноту сгорания топлива. На режимах малого газа ухудшаются и условия распыления авиационного топлива, что ухудшает полноту его сгорания. По мере увеличения относительной тяги выбросы CO и C_xH_y резко уменьшаются и на взлетном режиме составляют всего 0,1–0,5 % максимальных выбросов на режиме малого газа. Выбросы NO_x , напротив, увеличиваются с увеличением тяги [20]. Наибольшие выбросы сажи и дымления происходят при взлете и наборе высоты, когда двигатели работают с перегрузкой в 1,1–1,2 раза относительно своей номинальной мощности и на обогащенной топливной смеси [7].

В авиации принято рассматривать отдельно выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух на высоте 900 м, которые влияют на качество воздуха в районе аэропортов, и выбросы на высоте более 900 м, которые имеют специфическое влияние на атмосферу. Во время взлетно-посадочных операций и испытаний двигателей при техническом обслуживании происходят выбросы вредных веществ в окрестностях аэропорта, в результате загрязняются приземные слои атмосферы. По оценкам экспертов, объем таких выбросов составляет 23 % общего объема выбросов авиации [20].

Авиация загрязняет атмосферу в глобальных масштабах. Так, трансконтинентальные лайнеры при 300 взлетах и посадках на протяжении 1 сут выбрасывают в атмосферу около 3,7 т оксида углерода, более 2 т углеводородных соединений (несгоревшие компоненты топлива) и около 1,7 т оксидов азота. В результате проведения исследований в некоторых аэропор-

тах мира было установлено, что в большинстве случаев загрязнение атмосферного воздуха выходило за пределы допустимого уровня. Например, в Лос-Анджелесе было зарегистрировано, что содержание оксида углерода в районе аэропорта превышает ПДК на 11,5 мг/м³ в течение большей части суток, а один раз в месяц может достигать и 25 мг/м³ [21].

По экспертным оценкам, в 2000 г. в целом по территории Украины объем выбросов загрязняющих веществ ВС гражданской авиации на высоте 900 м (приземный слой атмосферы) составили 50 тыс. т (около 33 % общего объема выбросов), из которых 29 тыс. т приходится на оксид углерода, 11 тыс. т на углеводороды, которые не сгорели, 8 тыс. т на оксиды азота и почти 2 тыс. т на оксиды серы. На высоте свыше 900 м выбросы загрязняющих веществ были оценены в 103 тыс. т (почти 67 % общего объема выбросов). Из них 38 тыс. т пришлось на оксид углерода, 7 тыс. т на углеводороды (несгоревшие компоненты топлива), около 46 тыс. т на оксиды азота и 11 тыс. т на оксиды серы. Приблизительный состав токсичных и «парниковых» продуктов сгорания топлив для ГТД приведен ниже [11]:

CO ₂ , %	–	5–12
CO, %	–	0,01–1,0
N _x O _y , %	–	0,005–0,5
Углеводороды, %	–	0,001–0,5
Альдегиды, %	–	0–0,4
SO _x , %	–	0–0,4
Сажа, г/м ³	–	0,1–1,0
Бенз-а-пирен, г/м ³	–	до 1·10 ⁻⁷

Кроме того, в продуктах сгорания топлив для ГТД обнаружены полициклические арены и их нитропроизводные, оказывающие токсическое воздействие. Международные исследования показывают, что влияние авиации на загрязнение атмосферы не превышает 4 %, однако в районе аэропортов, которые интенсивно эксплуатируют ВС, загрязнение атмосферного воздуха может достигать критического уровня, в частности, по показателям оксидов азота. К тому же авиация является прямым источником эмиссии продуктов сгорания топлив в верхние слои атмосферы, крайне чувствительной к подобным веществам [11]. Существенно влияет на окружающую среду авиационная наземная техника, к которой относятся специальные технические наземные средства для обслуживания авиационной техники, воздушных перевозок и содержания аэродромов [20–22].

Одним из направлений уменьшения негативного влияния транспорта на окружающую среду является применение альтернативных ви-

Таблица 5. Эмиссия вредных веществ (г/км) при сгорании топлив [11]

Топливо	CO	CH	NO _x
Бензин	42	8,5	9,1
Сжиженный нефтяной газ	19	4,8	8,7
Сжатый природный газ	8,5	4,5	8,5
Бензин в смеси с водородом	3	2,8	4,55
Метанол	28	4,6	4,4
Метанол в смеси с бензином	32	5,4	7,6
Метанол в смеси с газом синтеза (H ₂ + CO)	5	2,5	3,5
Синтез-газ (H ₂ + CO)	0	0,4	2,3
Водород	0	0	2,5

дов топлив, которые при сгорании будут выделять меньшее количество опасных и токсичных веществ.

В настоящее время приблизительно половина добываемой нефти перерабатывается в моторное топливо, причем на автомобили приходится 75 % общего объема потребности транспорта в топливе, а оставшиеся 25 % в одинаковых пропорциях на авиацию и водный транспорт [16, 23].

Сегодня использование альтернативных топлив рассматривается как способ расширения базы энергоресурсов, а также как один из способов уменьшения техногенного влияния на окружающую среду (табл.5).

Практический опыт показывает, что наиболее перспективным направлением решения проблемы расширения базы энергоресурсов для транспортных средств является применение газообразного топлива (природный, сжатый, сжиженный, генераторный, коксовый и сланцевый газы) как источника энергии или антидетонационной «легированной» примеси для ДВС и силовых установок самолетов.

Применяемые сегодня альтернативные топлива сильно различаются токсичностью (табл.6). Сжиженные нефтяные газы (пропан-бутан) значительно менее токсичны (ПДК 1800 мг/м³) по сравнению с нефтяными бензинами (100 мг/м³) и дизельными топливами (300 мг/м³).

Национальным авиационным университетом совместно с Институтом газа НАНУ предложен новый вид альтернативного топлива для ДВС – газожидкостное топливо. Оно представляет собой молекулярный раствор газа в низкосортном бензине (с низким октановым числом). Газожидкостное топливо образуется при смешивании газа и бензина во время подачи топлива в карбюратор на разных режимах работы двигателя. Преимущества данного способа питания автомобиля заключаются в следующем: происходит экономия жидкого топлива, которая в зависимости от доминирующих усло-

Таблица 6. Удельные выбросы (г/км) двигателей, работающих на разных видах топлива [11]

Токсичное вещество	К*	Бензин	Бензин**	Сжатый природный газ	Дизельное топливо	Природный газ в смеси с дизельным топливом
Оксид углерода	1	2,5–10	1–2,5	0,5–1,5	0,2–1,6	0,2–1
Оксид азота	41,1	1–1,8	0,25–0,45	0,5–0,9	0,5–1,8	0,5–1,8
Углеводороды (кроме метана)	1,26	1–2	0,1–0,2	0,1–0,2	0,1–0,2	0,1–0,2
Оксид свинца	100	0,06–0,12	0,06–0,12	–	–	–
Сажа***	–	–	–	–	4–40	2–15
Бенз-а-пирен****	–	0,003–0,03	0,0015–0,02	0,0003–0,0009	–	–

* К — коэффициент эквивалентности, равный отношению токсичности эмиссии к токсичности оксида углерода и показывающий, во сколько раз больший объем воздуха может загрязнить к значению ПДК данное вещество в сравнении с оксидом углерода в таком же количестве. ** Бензин в смеси с системой уменьшения токсичности. *** Эмиссия сажи приведена в единицах дымности по Хартриджу. **** Бенз-а-пирен и другие полициклические ароматические углеводороды.

вий эксплуатации (шоссе, город) составляет 25–40 %; существенно снижаются выбросы вредных веществ с отработанными газами двигателя (на холостом ходу CO — 0,25–0,3 %, на средних оборотах (2500–3000 об./мин) — 0,3–0,4 %); появляется возможность применения низкооктановых марок бензина без ухудшения работы двигателя; возможно использование марок масел с увеличением срока их замены на 10–20 %; улучшаются пусковые характеристики двигателя (более быстрый запуск и прогревание двигателя в холодное время года); отмечено увеличение мощности двигателя автомобиля на 15–20 %.

По сравнению с автомобилями с газобаллонным оборудованием для работы на сжиженном газе в автомобилях со смешанной топливной системой значительно выше пожаробезопасность благодаря снижению давления газового топлива, которое подается в подкапотное пространство, до 0,15–0,04 МПа и уменьшению его расхода [24]. Дымность отработанных газов при работе на дизельном и газодизельном циклах в пределах 0–50 % максимальной загрузки почти не отличается, а при последующем росте нагрузки во время работы на дизельном цикле дымность отработанных газов стремительно возрастает.

Содержание в отработанных газах оксидов азота в зависимости от режима работы двигателя уменьшается по сравнению с дизельным циклом на 26–49 %, концентрация углеводородов при переходе на газодизельный цикл увеличивается, но углеводороды в основном представляют собой метан [25].

Выводы

Автотранспорт выступает основным загрязнителем воздуха во многих городах мира. Частично решить эту проблему можно применением альтернативных моторных топлив вместо

традиционных жидких нефтяных (бензина и дизельного топлива). В частности, альтернативой нефти может стать природный газ. Однако этот вид топлива имеет существенные недостатки, потому предлагается применение газожидкостного топлива, которое имеет экологические и экономические преимущества в сравнении с другими видами топлив.

Список литературы

1. Дорогунцов С.И., Коценко К.Ф. Экология. — Київ : Київ. нац. економич. ун-т, 2005. — 371 с.
2. Бойченко С. В., Черняк Л. М., Вовк О. А., Спаская Е. А. Эколого-энергетические проблемы системы «человек — окружающая среда — топливо — транспортное средство» // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. — 2007. — № 2. — С. 28–32.
3. Boychenko S., Vovk O., Chernyak L., Akinina K. Quality and Ecological safety of motor fuels // Chemistry Chemical Technology. — 2007. — № 6. — С. 109–115.
4. Агуреев И.Е. Транспортная экология : Консп. лекций. — Тула : ТулГУ. — 2008. — 68 с.
5. Білявський Г.О., Фурдуй Р.С., Костіков І.Ю. Основи екології: Підручник. — Київ : Либідь, 2005. — 408 с.
6. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В. та ін. Екологія та автомобільний транспорт: Нав. посібник — Київ : Арістей, 2008. — 296 с.
7. Клименко Л.П., Соловйов С.М., Норд Г.Л. Системи технологій: Навчальний посібник. — Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2007. — 600 с.
8. Русіло П.О., Костюк В.В., Афонін В.М. Вплив на довкілля автомобільного транспорту на всіх стадіях його життєвого циклу // Науковий вісник Нац. лісотехніч. ун-т України. — 2008. — Вип. 18.3. — С. 85–89.
9. Маленкина И.Ф., Попов А.В. Правовая база использования КПП в качестве моторного топлива России и за рубежом // Транспорт на альтернативном топливе. — 2010. — № 4. — С. 26–30.
10. Directive 2009/30/EC of the European Parliament and of the Council // Official Journal of the European Union. 2009. — Режим доступу:

- <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0088:0113:EN:PDF>
11. Бойченко С.В., Спіркін В.Г. Вступ до хімотології палив та олив : Навч. посібник. — Одеса : Астропринт, 2009. — Ч. 1. — 236 с.
 12. European emission standards // Wikipedia [Електронний ресурс]: — Режим доступу: http://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards
 13. Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про деякі питання ввезення на митну територію України та реєстрації транспортних засобів» № 427-V від 06.12.2006.
 14. Архіпова Г.І., Ткачук І.С., Глушков Є.І. Аналіз впливу відпрацьованих автомобільних газів на стан атмосферного повітря в густонаселених районах // Вісник НАУ. — 2009. — № 1. — С. 78–83.
 15. Гутаревич Ю.Ф., Матейчик В.П., Копач А.О. Шляхи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів // Вісник східноукраїнського нац. ун-ту ім. Володимира Дала. — 2004. — № 7, Ч. 1. — С. 11–15.
 16. Семенюк О.В., Поліщук В.В. Раціональне використання паливно-мастильних матеріалів та переваги альтернативних видів палива // Вісник НУВГП. — 2009. — № 3. — С. 142–149.
 17. Северин Л.І., Петрук В.Г., Безвозюк І.І. Природоохоронні технології: Навч. посібник. — Вінниця : УНІВЕРСУМ, 2005. — 357 с.
 18. Бойченко С.В., Новікова В.Ф., Турчак В.М., Медведєва Т.В. Екологічні аспекти визначення вмісту сірки в нафтопродуктах // Вісник НАУ. — 2010. — № 1. — С. 219–223.
 19. Прогноз розвитку воздушного транспорта до 2025 года: Циркуляр 313. 2007. [Електронний ресурс] — Режим доступу: http://aviadocs.net/icaodocs/Cir/313_ru.pdf.
 20. Франчук Г.М., Ісаєнко В.М. Екологія, авіація і космос: Навч. посібник. — Київ : НАУ, 2004. — 456 с.
 21. Халецкий Ю.Д. Экологические проблемы авиации. — М.: Торус Пресс. — 2010. — 504 с.
 22. Клименко Л.П. Техноекология: Посіб. для студ. вищих навч. закладів зі спец. «Екологія та охорона навколишнього середовища». — Одеса : Фонд Екопринт, 2000. — 542 с.
 23. Газ як альтернатива бензину // Всеукраїнський загальнополітичний освітнянський тижневик «Персонал Плюс» — 2009. — № 49. [Електронний ресурс]: — Режим доступу: <http://www.personal-plus.net/351/5866.html>
 24. Сайт Інноваційно-технологічного бізнес центру Ставропольського краю: <http://www.stavintech.ru>
 25. Назаренко М.Б. Покращення екологічних показників КТЗ переобладнанням дизелів в газодизелі. Дис. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук. — К., 2009. — 230 с.

Поступила в редакцію 06.01.15

Бойченко С.В., докт. техн. наук, проф., **Шкільнюк І.О.,**
Черняк Л.М., канд. техн. наук, **Макаренко Ю.С.,** **Карелін Ю.В.**
Національний авіаційний університет, Київ
пр. Космонавта Комарова, 1, 03680 Київ, Україна, e-mail: aviationchemmotology@rambler.ru

Екологічні аспекти використання моторних палив (Огляд)

Розглянуто сучасні соціальні та економічні аспекти використання нафтових та альтернативних палив. Показано загальний вплив транспортного сектора на екологічні системи. Розглянуто кількісні показники забруднення навколишнього середовища різними видами транспорту. Проаналізовано перспективи впровадження європейських норм викидів для легкових автомобілів з дизельними та бензиновими двигунами. Наведено екологічні показники різних видів нафтових палив. Представлено порівняльні характеристики їх властивостей. Проведено аналіз переваг та недоліків використання газорідних палив як моторного палива. *Бібл. 25, табл. 6.*

Ключові слова: моторні палива, автомобільний бензин, дизельне паливо, газ.

Boichenko S.V., Doctor of Technical Science, Professor, **Shkilniuk I.A.**,
Cherniak L.M., Candidate of Technical Science,
Makarenko Y.S., **Karelin Yu.V.**

National Aviation University, Kiev

1, Kosmonavta Komarova ave., 03680 Kiev, e-mail: aviationchemmotology@rambler.ru

Ecological Aspects of Motor Fuels Usage (Review)

The contemporary social and economic aspects of petroleum and alternative fuels use are considered in the article. The general impact of the transport sector on environmental systems is represented. The quantitative indicators of pollution caused by different kinds of transport are considered. The prospects of European emission standards for passenger cars with diesel and automotive engines are analyzed. The environmental indicators of different types of petroleum fuels are analyzed. The comparative characteristics of their properties are represented. Advantages and disadvantages of gas-liquid fuels as motor fuels use are analyzed. *Bibl. 25, Table 6.*

Key words: motor fuels, gasoline, diesel fuel, gas.

References

1. Doroguncov S.I., Kocenko K.F. *Ekologija* [Ecology]. Kiev : Kievskij Nacional'nyj jekonomicheskij universitet, 2005, 371 p. (Rus.).
2. Bojchenko S. V., Chernjak L. M., Vovk O. A., Spasskaja E. A. *Jekologo-jenergeticheskie problemy sistemy «chelovek-okruzhajushhaja sreda-toplivo-transportnoe sredstvo»* [Ecological energy problems in the system «Human – environment – fuel – transport vehicle»]. *Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse*, 2007, (2), pp. 28–32. (Rus.)
3. Boychenko S., Vovk O., Chernyak L., Akinina K. Quality and Ecological safety of motor fuels. *Chemistry Chemical Technology*, 2007, (6), pp. 109–115.
4. Agureev I.E. *Transportnaja jekologija* [Transport Ecology]. Tula : Tuls'kij Gosudarstvennyj Universitet, 2008, 68 p. (Rus.).
5. Biljavs'kij G.O., Furduj R.S., Kostikov I.Yu. *Osnovi ekologiji*. [Fundamentals of Ecology]. Kiev : Lybid, 2005, 408 p. (Ukr.)
6. Gutarevych Yu.F., Zerkalov D.V. *Ekologija ta avtomobil'nij transport: Navchal'nij posibnik* [Ecology and Automotive transport]. Kiev : Aristej, 2008, 296 p. (Ukr.)
7. Klymenko L.P., Solovjov S.M., Nord G.L. *Sistemy tehnologij* [Systems Technology]. Nikolaev : Vidavnytstvo Mykolai'vs'kogo Derzhavnogo gumanitarnogo universytetu im. Petra Mogyly, 2007, 600 p. (Ukr.)
8. Rusilo P.O., Kostjuk V.V., Afonin V.M. . *Vpliv na dovkillja avtomobil'nogo transportu na vsih stadijah jogo zhitteвого ciklu* [Environmental impacts of road transport at all stages of its life cycle], *Naukovyj visnyk Nacional'nogo lisotehnichnogo Universitetu Ukrai'ny*, 2008, is. 18.3, pp. 85–89. (Ukr.)
9. Malenkyna I.F., Popov A.V. *Pravovaja baza ispol'zovanija KPG v kachestve motornogo topliva Rossii i za rubezhom* [The legal framework of usage of CNG as a motor fuel in Russia and abroad], *Transport na al'ternatyvnom toplyve*, 2010, (4), pp. 26–30. (Rus.)
10. Directive 2009/30/EC of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union*. 2009. – Access mode: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0088:0113:EN:PDF>
11. Bojchenko S.V., Spirkin V.G. *Vstup do himnologii paliv ta oliv* [Introduction to chemmotology of fuels and oils], Odesa : Astroprynt, 2009, Part. 1, 236 p. (Ukr.)
12. *European emission standards* // Wikipedia [E-resource]: – access mode: http://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards.
13. *Zakon Ukrai'ny «Pro vnesennja zmin do Zakonu Ukrai'ny «Pro dejaki pytannja vvezennja na mytnu terytoriju Ukrai'ny ta reESTracii' transportnyh zasobiv» # 427-V vid 06.12.2006.* (Ukr.)
14. Arhipova G.I., Tkachuk I.S., Glushkov Ye.I. *Analiz vplivu vidprac'ovanih avtomobil'nih gaziv na stan atmosfernogo povitrja v gustonaselenih rajonah* [Analysis of the impact of automobile exhaust gases on air quality in populated areas], *Visnyk Nacional'nogo aviacionnogo universitetu*, 2009, (1), pp. 78–83. (Ukr.)
15. Gutarevych Yu.F., Matejchuk V.P., Kopach A.O. *Shljahi pidvishhennja ekologichnoï bezpeki dorozhnih transportnih zasobiv* [The ways of improving of environmental of road vehicles safety], *Visnyk shidnoukrai'ns'kogo Nacional'nogo univ'er-sitetu im. V.Dalja*, 2009, (7), Part 1, pp. 11–15. (Ukr.)
16. Semenjuk O.V., Polishhuk V.V. *Racional'ne vikoristannja palivno-mastil'nih materialiv ta perevagi al'ternativnih vidiv paliva* [Rational use of lubri-

- cants and benefits of alternative fuels], *Visnyk NUVGP*, 2009, (3), pp. 142–149. (Ukr.).
17. Severyn L.I., Petruk V.G., Bezvozhuk I.I. Prirodohoronni tehnologii. [Environmental technology]. Vinnitsa : UNIVERSUM, 2005, 357 p. (Ukr.)
 18. Bojchenko S.V., Novikova V.F., Turchak V.M., Medvjedjeva T.V. Ekologichni aspekti viznachennja vmistu sirki v naftoproduktah [Environmental aspects of determination of sulphur content of petroleum products]. *Visnyk Nacional'nogo aviacionnogo universitetu*, 2010, (1), pp. 219–223. (Ukr.)
 19. Prognoz rozvytytja vozdushnogo transporta do 2025 goda: Cyrkuljar 313. 2007. [Elektronnyj resurs] – Rezhym dostupu: http://aviadocs.net/icaodocs/Cir/313_ru.pdf. (Ukr.)
 20. Franchuk G.M., Isajenko V.M. Ekologija, aviacija i kosmos [Ecology, aviation and space: manual]. Kiev : Nacional'nyi aviacionnyi universitet, 2004, 456 p. (Ukr.)
 21. Haleckyj Yu.D. Jekologicheskie problemy aviacii [Environmental Problems of Aviation]. Moscow : Torus Press, 2010, 504 p. (Rus.)
 22. Klymenko L. P. Tehnoekologija [Technical Ecology]. Odesa : Fond Ekoprint, 2000, 542 p. (Ukr.)
 23. Gaz jak al'ternativa benzinu [Gas as an fuel alternative] *Vseukrai'ns'kyj zagal'nopolitychnyj osvjtians'kyj tyzhnevnyk «Personal Plus»*, 2009, (49). [Elektronnyj resurs]: – Rezhym dostupu: <http://www.personal-plus.net/351/5866.html> (Ukr.)
 24. Sajt Innovacijno-tehnologichnogo biznes centru Stavropol's'kogo kraju [Site of Innovation and Technology Business Center of Stavropol Territory]. [Elektronnyj resurs]. – <http://www.stavintech.ru>. (Ukr.)
 25. Nazarenko M.B. Pokrashennja ekologichnih pokaznikov KTZ pereobladnannjam dizeliv v gazo-dizeli. [Improving of the environmental characteristics of the diesels vehicle that was equipped into gas-diesel type] *The dissertation for Candidate of Technical Sciences*, Kiev, 2009, 230 p. (Ukr.)

Received January 6, 2015

УДК 504.064

Цыбуля С.Д.¹, канд. техн. наук, **Старчак В.Г.²**, докт. техн. наук, проф.,
Иваненко К.Н.¹, канд. техн. наук, **Бобровник Х.Н.²**

¹ **Черниговский национальный технологический университет**

ул. Шевченко, 95, 14027 Чернигов, Украина, e-mail: stcibula@yandex.ru

² **Черниговский национальный педагогический университет им. Т.Г.Шевченко**

ул. Гетмана Полуботка, 53, 14013 Чернигов, Украина

Интегральная оценка вредных выбросов с учетом комбинированного действия токсических загрязнителей

Для определения состояния окружающей среды, экологической опасности вредных выбросов в воздушный бассейн и методов защиты от них приобретает большое значение интегральная оценка техногенного загрязнения воздуха с учетом комбинированного действия токсических загрязнителей. Приведены результаты исследования техногенного ингредиентного загрязнения атмосферного воздуха Черниговской теплоэлектроцентрали с определением его интегральной оценки с позиций разных научных подходов, в особенности с учетом комбинированного действия токсикантов 4 групп (с эффектом суммирования и независимости биологического действия, неустановленного эффекта комбинированного действия). Уровень и степень опасности загрязнения устанавливали по кратности превышения суммарного показателя загрязнения относительно предельно допустимого загрязнения. Использовали и другие научные подходы: определение суммарного коэффициента опасности загрязнения атмосферного воздуха, индекса загрязнения атмосферы, класса опасности источника и категории опасности предприятия. Показано, что интегральная оценка вредных выбросов с учетом комбинированного действия токсичных загрязнителей более информативна относительно определения уровня экологической опасности ингредиентного загрязнения воздуха. *Библ. 20, табл. 3.*

Ключевые слова: степень опасности загрязнения воздуха, комбинированное действие токсикантов.