



19-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2016 m. gegužės 6 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 19th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 6 May 2016, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 19-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 6 мая 2016 г., Вильнюс, Литва

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИДЕТОНАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НОВОГО СОСТАВА АВИАЦИОННОГО БЕНЗИНА

Алеся Кондакова¹, Сергей Бойченко¹, Казимир Лейда², Андрей Пушак³,
Петр Топильницкий⁴, Виктория Романчук⁴

¹Национальный Авиационный Университет, Институт Экологической безопасности,
пр-т Космонавта Комарова, 1, 03058 Киев, Украина

²Жешувская политехника, ал. Варшавского восстания, 8, 35-959 Жешув, Польша

³ООО «Топливные технологии», ул. Чистяковская, 15А, к. 57, 03062 Киев, Украина

⁴Национальный университет «Львовская политехника», ул. Степана Бандеры, 12, 79013 Львов, Украина
Эл. почта: izabellac@mail.ru; chemmotology@ukr.net

Аннотация. Сегодня авиационная промышленность развивается очень быстро. Что приводит к необходимости разработки более экологичных и экономически эффективных видов топлива для авиации. Использование традиционных нефтяных авиационных топлив приводит к загрязнению верхних слоев атмосферы и окружающей среды. Сегодня широко вызван интерес к производству компаундированных бензинов с алифатическими спиртами. Их добавление в состав топлив, а в будущем возможно полное замещение, будет способствовать уменьшению выбросов токсичных веществ и уменьшению использования нефти.

Ключевые слова: тетраэтилсвинец, авиационное топливо, детонационная стойкость, октановое число, этанол.

Введение

Современное производство топлив характеризуется ужесточением требований к их качеству, а именно: выбросов с выхлопными газами транспорта, включающих CO, оксиды азота N_xO_y, несгоревшие углеводороды. В мире возрастает выпуск топлив нового состава, например реформулированные бензины, которые содержат меньше токсичных веществ, бензола и суммарной ароматики, и больше кислорода, способствующего более полному сжиганию оксида углерода (Нургалеев 2012).

Традиционно компоненты авиационного бензина получают различными технологическими процессами (Кулик *et al.* 2014). Основными фракциями авиационного бензина являются: бензин прямой перегонки нефти, бензин каталитического реформинга, бензин каталитического крекинга. Основными высокооктановыми компонентами выступают алкилат, технический изооктан, толуол, пиробензол и алкил-бензол, этиловая жидкость.

Определяющим показателем качества бензина является его детонационная стойкость. А октановое число выступает как мера детонационной стойкости

бензинов, которая описывает эксплуатационные и экологические характеристики автомобилей и самолетов с поршневым двигателем.

Постановка проблемы

Для обеспечения детонационная стойкость и высокого октанового числа в авиационные топлива добавляются различные высокооктановые добавки. Наиболее эффективным в настоящее время является тетраэтилсвинец (ТЭС) (Бойченко 2015). Он способен существенно повысить антидетонационную стойкость бензинов. Например, в работе (Свинецсодержащие... 2015) отмечено, что добавка 0,2 г свинца на 1 кг эталонных бензиновых смесей (изооктан и н-гептан в пропорциях 40/60, 50/50, 60/40 % об.) увеличивает октановое число на 8,8; 9,1 и 9 ед. соответственно, в свою очередь с увеличением концентрации антидетонатора его эффект также растет, так добавка 0,6 г свинца на 1 кг эталонных бензиновых смесей приводит к росту октанового числа на 24,2; 21,7 и 18,2 ед. соответственно.

Сегодня почти все известные марки авиационного бензина, используют в качестве детонатора ТЭС, несмотря на его токсичность.

Например, для авиационных поршневых двигателей, в соответствии с ГОСТ 1012, предусмотрено производство авиационных бензинов марок Б-95/130 и Б-91/115, согласно ТУ 38.401-58-47-92 производят бензин Б-92, в DEF STAN 91-90 Issue 3 отражены требования к AVGAS 100LL, AVGAS 100, AVGAS 80. Однако все они содержат ТЭС, как видно с таблицы 1.

Таблица 1. Содержание ТЭС в авиационных бензинах

Марка авиабензина	Содержание ТЭС	Нормативный документ
Б-95/130	3,1 г/кг	ГОСТ 1012-72
Б-91/115	2,5 г/кг	ГОСТ 1012-72
Б-92	2,0 г/кг	ТУ 38.401-58-47-92
Avgas 80	0,14 г/л	DEF STAN 91-90 Issue 3
Avgas 100LL	0,56 г/л	DEF STAN 91-90 Issue 3
Avgas 100	0,85 г/л	DEF STAN 91-90 Issue 3

Сегодня разрабатывают авиационные бензины, не содержащие ТЭС. К ним относятся Б-70 (ТУ 38.101913-82) (используется в основном как растворитель), 82UL (ASTM D 6227), но они пока не получили широкого использования в авиации.

Одним из решений этой проблемы является введение в авиационный бензин вместо тетраэтилсвинца алифатических спиртов, например, этанол, метанол, бутанол, изо-бутанол, трет-бутанол, изо-пропанол и др.

Разработка нового экологически безопасного авиационного бензина решит ряд экологических проблем.

Использование алифатических спиртов расширяет ресурсный потенциал топлив и часто позволяет улучшить их качество. Это послужило главным фактором мотивации для выполнения нашего исследования.

Анализ предыдущих исследований и публикаций

Применения спиртов в качестве высокооктановой добавки к моторным топливам известно с начала XIX века, однако их широкое промышленное применение началось только в последние года (Асяев 2010).

Рекомендуемая концентрация оксигенатов в бензинах составляет 3–15 % (об.) (Пилявский *et al.* 2012). Она выбирается с расчетом, чтобы содержание кислорода в топливе не превышало 2,7 %. Объясняется это тем, что такое количество оксигенатов, несмотря на их более низкую по сравнению с нефтяным бензином теплотворную способность, не вызывает негативного влияния на мощностные характеристики двигателей.

Этанол обладает высокой энергетической ценностью, добывается из отходов древесины и сахарного тростника, обеспечивает двигателю высокий КПД и низкий уровень выбросов и особо популярен в теплых странах (Бойченко *et al.* 2015).

Бразилия после своего нефтяного кризиса 1973 г. активно использует этанол – в стране более 7 млн. автомобилей заправляются этанолом и еще 9 млн. – его смесью с бензином. США является вто-

рым мировым лидером по масштабному изготовлению этанола для автотранспорта. Этанол используется как “чистое” топливо в 21 штате, а этанол-бензиновая смесь составляет 10 % топливного рынка США и применяется более чем в 100 млн. двигателях. Такой всплеск интереса к его использованию в качестве топлива, за рубежом, обусловлен налоговыми льготами.

Изучено (Личманенко 2015), что добавка 10 % этанола к бензину обогащает его кислородом, что способствует более полному сгоранию и уменьшению выбросов оксида углерода на 30 %. Также наблюдается уменьшение выбросов токсичных веществ на 30 % и выбросов летучих органических соединений – более чем на 25 %. Использование смеси бензина и этанола, Е10, разрешено всеми крупными производителями автомобилей, при этом улучшается работа двигателя, путем добавления 2–3 октановых единиц к детонационной стойкости топлива, предотвращает перегрев двигателя, выполняет функцию антифриза топливной системы и не вызывает загрязнения топливных инжекторов.

Антидетонационное действие этилового спирта целесообразно усиливать дополнительным введением в топливо других антидетонационных добавок (в первую очередь это ароматические амины, в частности метил анилин) (Шевченко 2011).

Стоит также учитывать, что большинство стабилизаторов имеет синергическое действие, то есть в смеси с этанолом повышает октановое число последнего.

В работе (Шевченко 2009) лучшую антидетонационную эффективность показала следующая композиция: биоэтанол – 77,8 об. %; тяжелая этероальдегидная фракция – 17,5 об. %; этилацетат – 3,2 об. %; фурфуриловый спирт – 1,5 об. %.

Основным недостатком бензино-спиртовых топлив является их фазовая нестабильность, обусловленная наличием в них даже небольших количеств воды и, как следствие, ограниченной взаимной растворимостью компонентов. Для обеспечения стабильности спиртосодержащих бензинов при производстве, хранении и использовании необходимо: избегать попадания в них воды; использовать стабилизирующие добавки или соразработители, гомогенизированной систему бензин-вода-спирт. Рекомендуется также добавлять спирт в бензин непосредственно перед заправкой автомобиля (Асяев 2010).

В качестве стабилизаторов бензино-спиртовых смесей предлагается использовать: алифатические спирты нормальной и разветвленного строения, фенолы, алкил ацетаты, простые и сложные эфиры и их металлоорганические производные, кетоны, амины, ПАВ, а также гликоли и их эфиры, альдегиды, кетали, ацетали, алкилкарбонаты, карбоновые кислоты и смеси указанных соединений.

Еще одним недостатком этанола есть его коррозионная агрессивность к металлам (цинк, латунь, свинец, алюминий, сталь, покрытую сплавом свинца и олова).

Коррозия может быть замедлена, или практически остановлена, за счет введения в среду ингибиторов – веществ, образующих на поверхности металла пленку (чаще хемосорбционную), что препятствует выходу ионов металла с поверхности и их взаимодействию с кислородом (в случае ржавления) или другими компонентами среды.

Проблемы, связанные с влиянием спиртов на резины и пластмассы (спирт проникает в материал шлангов и герметичных уплотнений, что приводит к увеличению потери топлива при испарении и разрушения материалов). В работе (Шевченко 2011) было установлено, что наличие 5–8 % спиртов в бензине вызывает в большинстве случаев изменение физических (набухание, старения, трещинообразования и др.), но не химических свойств каучуков. В общем случае различия в свойствах материалов, находящихся под влиянием углеводородного топлива и бензинов, содержащих до 10 % этанола, оказались незначительными. Максимальные различия наблюдались при содержании спиртов 15–50 %: коррозионная активность топливных спиртовых композиций линейно возрастает с увеличением концентрации в них спиртов.

Данная проблема решается с помощью подбора современных полимерных материалов, устойчивых к воздействию спиртов. Представляют интерес результаты исследований свойств нитрильных каучуков, полиэпихлоргидрину и фторсодержащих каучуков, термопластичных материалов, из которых наиболее часто изготавливают детали, контактирующие с топливом.

Методы и результаты эксперимента

Мы исследовали модельную углеводородную смесь (в качестве базовой бензиновой смеси, ББС), состоящую из 43,0 % бензина гидроочистки каталитического крекинга, 40,0 % бензина каталитического реформинга, 14 % рафината и 3 % толуола. В ББС мы определили содержание свинцовых добавок, что составило 0,0005 г на дм^3 . Такая концентрация свидетельствует о его отсутствии.

Общепризнанным есть метод испытания на двигателях сравнением детонационной стойкости исследуемого бензина с эталонными топливами, детонационная стойкость которых известна и выражена в виде установленного показателя.

На данный момент разработаны и применяются такие методы оценки детонационной стойкости авиационных бензинов: моторный метод (ГОСТ 511) и метод определения сортности на богатой смеси (ГОСТ 3338).

Моторный метод определения детонационной стойкости (ГОСТ 511) применяют для авиационных и автомобильных бензинов и их компонентов, имеющих ОЧ 40–100 ед.

Наше исследование детонационной стойкости мы проводили по стандартному методу (ГОСТ 511).

Октановое число ББС по моторному методу (MON) равно 80,4 ед.

Для улучшения свойств ББС мы модифицировали ее 5 %, 10 %, 15 % этанола. Затем исследовали детонационную стойкость новой бензиновой смеси. Метанол в качестве представителя алифатических спиртов для исследования был исключен как высокотоксичный компонент. Результаты исследований этанола представлены в таблице 2.

Таблица 2. Модифицирование базовой смеси бензина (добавкой алифатического спирта – этанола)

Исследовательский образец	MON, ед.	Увеличение MON, %
ББС	80,4	–
ББС + 5 % этанола	81,3	1
ББС + 10 % этанола	82,7	3
ББС + 15 % этанола	84,6	5
ББС + 15 % этанола + присадка	87,2	8,5

По результатам исследований (табл. 2), добавление 15 % этанола повышает октановое число почти на 5 % по сравнению с ББС, а смесь 15 % этанола и присадки с ББС увеличивает октановое число на 9 %.

В качестве присадки было использовано Octamar FK. Она является высококонцентрированным реагентом, способствующим улучшению антидетонационных свойств бензинов. Octamar FK обеспечивает более интенсивное сжигание углеводородов, уменьшает образование отложений, снижает расходы на техническое обслуживание и увеличивает октановое число.

Также был исследован фракционный состав, который является одним из важнейших показателей качества бензина. От него зависит пуск, время прогрева и приемистость двигателя, износ деталей цилиндра-поршневой группы, расход топлива, масла, токсичность отработанных газов и тому подобное.

Фракционный состав образцов определяли по стандартной методике, согласно требованиям ГОСТ 2177. «Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава».

Полученные результаты свидетельствуют о том, что этиловый спирт в сочетании с исследуемым бензином приводит к постепенному уменьшению температуры выкипания полученного топлива с увеличением содержания спирта. Это свидетельствует о том, что при запуске двигателя бензин с добавлением этилового спирта имеет наименьшую склонность к образованию паровых пробок в топливной системе, улучшает его приемлемость и повышает скорость его перехода на режим максимальной мощности.

Еще одной основной характеристикой топлива является химическая стабильность, характеризующая способность бензина сохранять свои свойства и состав при длительном хранении, перекачивании, транспортировке или при нагревании впускной системы двигателя. Самым неприятным следствием химических изменений бензина является образование в нем смолыстых продуктов.

Определение концентрации фактических смол проводилось согласно стандартной методике ГОСТ 1567 «Бензины автомобильные и топлива авиационные. Метод определения смол выпариванием струей».

Согласно результатам исследований, при добавлении этанола к топливу концентрация фактических смол постепенно уменьшается и при добавлении 10 и 15 % этанола соответствует требованиям стандарта DEF STAN 91-90 Issue 3, положительно влияет на работу двигателя.

Это наши первые результаты по получению экологически чистого авиационного бензина, лояльного к окружающей среде.

Выводы

Для получения качественного авиационного бензина все еще продолжают использовать тетраэтилсвинец как наилучшую присадку по улучшению детонационной стойкости.

Наши исследования подтвердили гипотезу о том, что замещение тетраэтилсвинца возможно алифати-

ческими спиртами. Так, модифицирование ББС 15 % этанола увеличивает его октановое число на 5 единиц по сравнению с исходным, а добавление в данную смесь присадки Oxtamar FK – на 9 ед. Однако остаточной формулы нового топлива пока еще нет.

Также при запуске двигателя бензин с добавлением этилового спирта имеет наименьшую склонность к образованию паровых пробок в топливной системе, улучшает его приемлемость и повышает скорость его перехода на режим максимальной мощности.

Новое авиационное топливо должно соответствовать очень многим требованиям: иметь необходимые сырьевые ресурсы, низкую стоимость, не ухудшать работу двигателя, как можно меньше выбрасывать вредных веществ, по возможности сочетаться со сложившейся системой снабжения топливом и др.

Литература

- Асяев, А. Н. 2010. Исследование влияния качества спирта и состава углеводородной фракции на физико-химические и эксплуатационные показатели биоэтанольного топлива E85. А. Н. Асяев, В. Е. Емельянов, Е. А. Никитина, *Технологии Нефти и Газа* 4: 24–27.
- Бойченко, С. В. 2015. Причинно-наслідковий аналіз модифікації складу авіаційних бензинів. С. В. Бойченко, О. Г. Личманенко, *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник* 2(32): 3–13.
- Бойченко, С. В.; Бойченко, М. С.; Кабан, С. М.; Личманенко, О. Г. 2015. Вплив добавок аліфатичних спиртів на властивості бензинів: аналітичний огляд, *Науковий технологічний збірник* 1(25): 86–92.
- Бойченко, С. В.; Черняк, Л. М.; Новікова, В. Ф. [и др.]. 2012. Контроль якості пально-мастильних матеріалів: навч. Посіб. Киев: НАУ. 308 с.
- Кулик, Н. С.; Аксенов, А. Ф.; Яновский Л. С. и др. 2014. *Авиационная химмотология: топлива для авиационных двигателей. теоретические и инженерные основы применения*. Киев: НАУ. 605 с.
- Личманенко О. Г.; Бойченко, С.; Лейда, К. 2015. *Перспективи реформування авіаційних бензинів. Systemy I srodki transportu samochodowego: wibrane zagadnienia. Seria: transport. Monografia. Rzesow. № 6, p. 251–256.*
- Нургалеев, А. 2012. *Авиация нуждается в альтернативных видах топлива* [Электронный ресурс] по материалам Airline Fleet Management и Flightglobal. Режим доступа: <<http://www.aviaport.ru/news/2012/07/27/238185.html>>.
- Пилявський, В. С.; Гайдай, О. О.; Кирпач, К. О. и др. 2012. Експлуатаційні властивості альтернативних моторних палив на основі оксигенатів, *Каталіз и нефтехимия* 21: 162–166.
- Свинцосодержащие присадки* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <<http://additive.spb.ru/tes.html>>. Від 11. 11. 2015 р.
- Шевченко, Е. Б. 2009. Спирто-углеводородные топлива и снижение их коррозионной агрессивности, *Вопр. Химии и хим. Технологии* 2: 83–85.
- Шевченко, О. Б. 2011. Застосування етанолу як компонента моторного палива, *Вопросы химии и химической технологии* 6: 132–137.