



22-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos  
**TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,**  
vykusios 2019 m. lapkričio 22-23 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 22th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'  
**TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 22-23 November 2019, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 22-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»  
**ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК**, 22-23 ноябрь 2019 г., Вильнюс, Литва

## АЛЬТЕРНАТИВНОЕ СПИРТСОДЕРЖАЩЕЕ БИОТОПЛИВО – КАК СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНА

Наталья Калмыкова<sup>1</sup>, Сергей Бойченко<sup>2</sup>

Национальный авиационный университет, Украина, 03058, Киев, просп. Космонавта Комарова, 1,  
E-mail:<sup>1</sup>kalmykova82@ukr.net

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены преимущества и недостатки биотоплив, а именно спирто-бензиновых смесей как альтернативного вида топлива, а также была проведена сравнительная характеристика физической стабильности (эмиссии, испарения и расслоения) биотоплива с традиционным нефтяным автомобильным бензином. Рассмотрены актуальные проблемы, связанные с физической нестабильностью как биотоплива так и традиционных автомобильных бензинов, а также способы их решения наиболее актуальными на сегодня методами.

**Ключевые слова:** альтернативное биотопливо, автомобильный бензин, физическая стабильность, эмиссия, испарение, расслоение, биоэтанол, биобутанол, биометанол.

### Введение

Научно-технический прогресс в области автомобилестроения наряду с ужесточением экологических требований и условий эксплуатации автомобилей предъявляет повышенные требования к качеству моторных топлив (Марагарил 2003). Загрязнение окружающей среды транспортными средствами происходит вследствие выброса (эмиссии) в атмосферу вредных веществ, содержащихся в выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания. Основными компонентами этих выбросов являются: сажа (С), угарный газ (СО), углеводороды (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) и окислы азота (NO<sub>x</sub>). В настоящее время требования по выбросу вредных веществ регулируются правилом 49 ЕЭК ООН и директивой 88/77 ЕС (Бойченко *et al.* 2005).

Эмиссия углеводородного пара (испарения) в атмосферу имеет довольно негативное влияние на человека и окружающую среду. Помимо того, что наносится вред окружающей среде, теряется ценное нефтяное сырьё, а именно углеводороды, которые входят в состав автомобильного бензина. Автомобильный бензин имеет наибольшую склонность к потерям от испарения, в сравнении с другими нефтепродуктами (Черняк 2013).

Применение альтернативных топлив на транспорте даёт возможность расширить энергетическую

базу, снизить зависимость от состояния природных ресурсов и колебаний цен на них, уменьшить загрязнение окружающей среды и является стратегическим решением (Внукова 2011).

Сегодня многие страны активно проводят программы внедрения биотоплив, в основном путём их введения в состав традиционного нефтяного топлива. Современные требования Европейского Союза согласно директиве ЕС 2009/28/ЕС (Бойченко *et al.* 2005) ставят такие задачи: до 2020 года доля возобновляемой энергии в общем балансе энергопотребления должна достичь 20%, биотоплива – как минимум 10%.

Для решения поставленных задач за границей интенсивно ведутся работы по снижению расхода топлива автомобилями и развитию автомобильных технологий, которые будут обеспечивать работу двигателя на топливах с высоким содержанием биоконпонентов: биоэтанола, биометанола, биобутанола, биодизеля и др.

Согласно договору об экологической политике, который был заключен на 38-й Ассамблее ИКАО (2013 г.), предусмотрена разработка общемировых рыночных инструментов, которые позволят свести к минимуму выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу с 2020 года. Одним из приоритетных инструментов в решении этой задачи является использование альтернативных топлив, что должно к 2050 году уменьшить объём выбро-

сов CO<sub>2</sub> на 50% (в сравнении с 2005 годом). А в планах международной ассоциации воздушного транспорта (IATA) – уменьшение эмиссии CO<sub>2</sub> на 30% до 2025 года.

Мировыми центрами производства биотоплива в 2012 году были США, Бразилия и Европейский союз. Например, в 2010 году они сконцентрировали 85% мирового производства биологического топлива, только на США приходится 48% производства мирового биотоплива (Бойченко, Личманенко 2015).

Одним из основных направлений развития мировой нефтеперерабатывающей промышленности является производство моторных топлив, в частности, важнейшей их составляющей – автомобильного бензина (Бойченко *et al.* 2005).

Автомобильный бензин – это сложная смесь лёгких парафиновых, олефиновых, нафтеновых, ароматических углеводородов, которая выкипает в пределах 30°C-215°C. Они являются легковоспламеняющимися бесцветными или желтоватыми жидкостями.

Надёжная и эффективная работа топливных систем может быть обеспечена только при условии сохранения качества топлив в границах, установленных соответствующими нормативно-техническими документами. Способность топлива сохранять свои изначальные свойства при различных технологических процессах, таких как: хранение, транспортирование и применение в технике называется стабильностью. Различают стабильность: физическую, химическую и биологическую (Бойченко 2006).

В понятие физическая стабильность входит в первую очередь склонность к изменениям свойств топлив при их частичном испарении. Физическая стабильность характеризует также способность топлива не расслаиваться и не образовывать осадков при смешении в процессах транспортирования и хранения. Это свойство приобретает особое значение в настоящее время при использовании спиртов в качестве компонентов топлив. Попадание воды, а иногда и небольшое снижение температуры могут вызвать расслоение спирто-топливных смесей. Появление двух жидких несмешивающихся фаз ведёт к нарушению нормальной работы двигателя.

Одной из важных характеристик автомобильного бензина является испарение, которое характеризуется давлением насыщенных паров и фракционным составом. Как известно, фракционный состав характеризуется температурами выкипания 10, 50 и 90% (об.). Температура перегонки 10% (об.) характеризует пусковые свойства бензина и его способность к образованию паровых пробок. Пусковые свойства бензина зависят от содержания в нём лёгких фракций. От содержания в бензине легкокипящих фракций и высокого давления его насыщенных паров так же зависит его физическая стабильность, то есть склонность к потерям от испарения. Автомобильный бензин имеет максимальную склонность к потерям от испарения (Гурев *et al.* 1986).

В процессах транспортирования, хранения и применения все топлива испаряются и образовавшие-

ся пары частично рассеиваются в окружающем воздухе, т. е. теряются. Испарение топлив ведёт не только к материальным потерям, но часто сопровождается ухудшением эксплуатационных свойств и приводит к загрязнению окружающей среды.

На сегодня наиболее важной задачей нефтеперерабатывающей промышленности является повышение эксплуатационных и экологических характеристик бензинов. И, в особенности повышения физической стабильности бензинов. В связи с этим вопрос определения потерь топлива имеет большое значение. Поэтому как, потери от испарения приводят к ухудшению эксплуатационных характеристик и количественных потерь с экономической точки зрения. К эксплуатационным характеристикам, ухудшающимся при испарении относятся: пусковые свойства (пусковые свойства бензина тем лучше, чем больше в нём низкокипящих фракций) и антидетонационные (в результате потери 5% топлива снижается важный эксплуатационный показатель бензина – октановое число, что в последствии может привести к детонации). Ухудшение этих эксплуатационных свойств в свою очередь приводит к ограничению технического ресурса двигателей транспортных средств.

Склонность к расслоению – одна из составляющих физической стабильности топлив. Топлива, содержащие только углеводородные компоненты, не расслаиваются при любых температурах. Попадание воды в такие топлива не сопровождается вымыванием каких либо компонентов, и после отстоя топлива не изменяют своих свойств. Иначе ведут себя топлива, в которых присутствуют кислородсодержащие компоненты, и, в частности, спирты.

Обеспечение энергоресурсами является обязательным условием развития экономики любой страны (Гурев *et al.* 1986).

Увеличение выбросов отработанных газов в атмосферу и рост цен на нефтяное топливо форсируют внедрение альтернативных топлив, а именно биологических, которые производятся из возобновляемых растительных источников. Поэтому использование моторных альтернативных топлив является одним из самых распространённых вариантов снижения выбросов вредных веществ с отработанными газами (Полункін 2010).

Альтернативные топлива согласно общей классификации делятся на три группы. К первой группе относятся топлива с примесями (смесевые) не нефтяного происхождения (спиртами, эфирами и др.), которые по эксплуатационным характеристикам близки к традиционным нефтяным топливам. Ко второй группе альтернативных топлив принадлежат синтетические жидкие топлива, которые близки по своим свойствам к традиционным нефтяным топливам, но их получают в процессе переработки газообразного, твёрдого или жидкого сырья (природного газа, горючих сланцев, угля и др.), переработкой природного газа в синтез-газ и далее в метанол или углеводороды по технологии GTL (Gas to Liquid – газ в жидкость). К третьей группе альтернативных топлив относятся не нефтяные топ-

лива (спирты, природный и попутный газ, водород и др.) Они существенно отличаются по физико-химическим и эксплуатационным характеристикам от традиционных топлив. В случае применения альтернативных топлив первых двух групп иногда возникает необходимость в незначительном изменении топливной системы автомобиля. Для использования топлив третьей группы необходима существенная модернизация (Полункин 2010).

Одними из перспективных альтернативных топлив для автомобильного транспорта являются спиртовые топлива. Наиболее вероятными заменителями традиционных жидких топлив являются биоспирты (метанол, этанол, бутанол, некоторые метиловые эфиры жирных кислот). Эти продукты могут быть использованы как самостоятельно так и в качестве добавок к традиционным топливам (Панкин *et al.* 2011).

Рассмотрим более детально бензины моторные смесевые, относящиеся к первой группе альтернативных топлив. Альтернативные топлива первой группы широко используются во всём мире. Согласно государственному отраслевому стандарту ГСТУ 320.00149943.015-2000 («Бензины моторные смесевые. Технические условия») допускается в процессе производства бензинов использование кислородсодержащих компонентов и примесей. Введя в бензин этанол, который является высокооктановым компонентом, из полученного топлива можно удалить другие вредные компоненты, такие как ароматические соединения или МТБЭ (Сердюк 2001).

Наиболее распространённый вид биотоплива – биоэтанол, его доля составляет 82% от всего производимого в мире топлива из биологического сырья (Асяев 2010). Ведущими его производителями являются США и Бразилия.

К достоинствам топлив, которые содержат спирт, относятся:

- менее выраженная токсичность, чем у бензина, отсутствие в составе канцерогенных компонентов;
- уменьшение выбросов CO и CH<sub>4</sub>, а также контролируемых вредных компонентов отработанных газов автомобилей.

Благодаря добавлению даже 10% этанола бензин обогащается кислородом, что способствует более полному сгоранию и уменьшению выбросов оксида углерода на 30%. Так же наблюдается уменьшение выбросов токсичных веществ на 30% и выбросов летучих органических соединений – более чем на 25% (Аблаев 2009).

Недостатками этанола как топлива или компонента топлива являются:

- нестабильность компонентного состава этанолсодержащего топлива, обусловлена испарением спирта и экстракцией его из топлива под товарной водой.
- увеличение расхода топлива на 3% при концентрации этанола до 12% (Сердюк 2001).

Поэтому одной из основных проблем использования этанола как компонента, который повышает октановое число автомобильных бензинов, является низкая физическая стабильность спирто-бензиновых топлив при пониженных температурах.

Технология производства смесового автомобильного бензина основана на использовании безводного спирта с содержанием воды не более 1% для повышения его растворимости в углеводородной среде и получения гомогенной смеси. Однако вследствие гигроскопичности 99%-го спирта возможно его обводнение при наличии влаги как в самом базовом бензине так и в воздухе, который контактирует со смесевым топливом. В результате топливо расслаивается на углеводородную и водно-спиртовую фазы, особенно в случае снижения температуры. Для предупреждения этого явления применяют стабилизаторы. Использование обводненного спирта, например, с объёмной долей 96% для компаундирования бензино-спиртовых топлив непременно приводит к расслаиванию (Сфименко, Вашенко 2010).

Применение биобутанола – это следующий значительный этап развития биотоплив, использование которых должно удовлетворить возрастающие потребности в экологически-безопасном, возобновляемом транспортном топливе (Внукова 2011).

К достоинствам бутанола следует отнести:

- смесь не расслаивается в присутствии воды, легко смешивается с обычным бензином,
- низкое давление паров биобутанола не должно приводить к появлению высокого уровня эмиссии летучих органических соединений,
- бутанол более безопасен в использовании, поскольку в шесть раз меньше испаряется, чем этанол и в 13,5 раз менее летуч, чем бензин.

Ещё одним из перспективных видов топлива является метанол, поскольку имеет высокое значение октанового числа. Как добавка к бензинам метанол используется не часто. Как моторное топливо используется, в основном, смесь М 85 (85% метанола и 15 % углеводов), а также чистый метанол М 100 (100% метанола) (Льотко *et al.* 2000). Во всех случаях он даёт возможность снизить токсичность выхлопных газов двигателя. Риск увеличения эмиссии летучих органических веществ повышается в связи с использованием стопроцентного метанола, поэтому его использование ограничивается. Одной из самых серьёзных проблем, которые усложняют использование добавок метанола, является его токсичность, плохая растворимость в углеводородах и высокая гигроскопичность. Способность к расслаиванию повышается с понижением температуры, увеличением концентрации воды и уменьшением содержания ароматических соединений в бензине. Благодаря использованию метанола содержание в отработанных газах оксидов азота снижается на 25-30% в сравнении с работой на бензине.

На основании выше наведенного анализа литературы, рассмотрим сравнительную характеристику

физико-химических и экологических свойств алифатических спиртов.

**Таблица 1.** Физико-химические и экологические свойства алифатических спиртов.

Спирт	Свойства
Метанол	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наибольшее октановое число;</li> <li>- улучшение топливной экономичности на 10-15%;</li> <li>- КПД двигателя повышается на 5-15% в сравнении с бензином;</li> <li>- высокая токсичность и агрессивность относительно конструкционных материалов;</li> <li>- содержание в отработанных газах оксидов азота снижается на 25-30% в сравнении с работой на бензине.</li> </ul>
Этанол	<ul style="list-style-type: none"> <li>- октановое число значительно выше, чем у бензина;</li> <li>- расслаивание при наличии воды;</li> <li>- необходима модификация двигателя при увеличении содержания;</li> <li>- низкая теплота сгорания - пары этанола рассеиваются быстрее, чем пары бензина;</li> <li>- менее токсичен, чем бензин, не содержит канцерогенных компонентов;</li> <li>- пары этанола менее огнеопасны, чем пары бензина из-за более высокой температуры самовозгорания;</li> <li>- электропроводность значительно выше, чем у бензина, что снижает опасность накопления статической электрики во время движения топлива, в том числе и в топливной системе.</li> </ul>
Бутанол	<ul style="list-style-type: none"> <li>- октановое число выше, чем у бензина;</li> <li>- энергоёмкость бутанола близка к энергоёмкости бензина;</li> <li>- смесь не расслаивается в присутствии воды;</li> <li>- легко смешивается с обычным бензином;</li> <li>- не требует модификации двигателя, может полностью заменить бензин;</li> <li>- не обладает коррозионными свойствами;</li> <li>- низкое давление паров биобутанола не должно приводить к появлению высоких уровней эмиссии летучих органических соединений.</li> </ul>

На сегодня бензины производятся в основном с содержанием этанола, поскольку он является самым массовым продуктом среди алифатических спиртов. Этанол наиболее подходит для использования на практике за счёт большого объёма производства и низкой токсичности.

Следует отметить, что спиртосодержащий бензин обладает высокими моющими способностями. То есть все резервуары и трубопроводы с которыми контактирует бензин смесевой, должны быть соответствующим образом зачищены, остатки других нефтепродуктов, которые сохранялись до этого, будут вымыты таким бензином и растворятся в нём, что приведёт к ухудшению физико-химических свойств бензина смешанного и соответственно к качественным потерям.

## Выводы

В результате анализа литературных источников, установлено, что в области получения и регулирования свойств спиртосодержащих бензинов проведён большой объём научных исследований. В сравнении с метанолом, этанол является менее коррозионно-агрессивным и гигроскопичным, лучше растворяется в углеводородах. Благодаря этанолу бензин обогащается кислородом и способствует более полному сгоранию топлива. Сегодня одним из наиболее перспективных добавок алифатических спиртов выступает бутанол. Поскольку, в ходе анализа литературы было установлено, что он является наименее агрессивным к конструкционным деталям двигателя, обладает наибольшим стабилизационным действием по отношению к спирто-бензиновым смесям, имеет октаноповышающие свойства и позволяет уменьшить количество токсичных выбросов. В отличие от существующих биотоплив, биобутанол потенциально может транспортироваться по трубопроводам, то есть он может быть быстро добавлен к бензину, и это позволит избежать потребности в строительстве крупномасштабной инфраструктуры поставки.

При условии применения спиртов снижается эмиссия продуктов неполного сгорания топлив, уменьшается образование сажи. Однако в то же время увеличиваются выбросы в окружающую среду альдегидов (как продукта не полного сгорания спиртов), возможно так же увеличение эмиссии оксидов азота. Кроме того, спирты гигроскопичны, имеют низкие смазывающие свойства, коррозионно агрессивны, негативно влияют на конструкционные материалы (Черняк 2013).

Следовательно, можно сделать вывод, что содержание в составе автомобильных бензинов спиртосодержащих компонентов не только улучшает антидетонационные свойства топлива, но и повышает его физическую стабильность, приводит к увеличению плотности и уменьшению поверхностного натяжения бензинов, что в свою очередь, снижает склонность к потерям от испарения. Анализ существующих на сегодня данных подтвердил перспективность и актуальность дальнейших исследований в этом направлении. А именно, исследования с использованием спиртов как добавок к бензинам для улучшения физико-химических, эксплуатационных и экологических свойств. Данные исследования ведутся во всём мире и подтверждают перспективность модифицирования традиционных топлив оксигенатами (прежде всего, биометанолом, биоэтанолом и биобутанолом). Анализ в данной области поможет охарактеризовать влияние добавки исследуемых спиртов на фракционный состав бензина. Фактором влияния является различие в температурах кипения спиртов, которые добавляются к нефтепродукту. Также анализ в данной области поможет исследовать влияние спиртов на эксплуатационные свойства бензина. А именно, влияние добавки спиртов на температуры выкипания 10%, 50% и 90% об. бензина и на объём испаряемого топлива при температурах 70, 100, 120, 150 и 180°C, В свою очередь,

эти данные характеризуют испаряемость автомобильных бензинов, их склонность к потерям и образованию паровых пробок в топливных системах транспортных средств, чем и обосновывается актуальность исследований в данной области.

## Литература

- Марагарил, Е. Р. 2003. Автотранспорт, экология и качество моторных топлив // Нефть и газ. - №1. – С. 98-103.
- Бойченко, С. В.; Иванов, С. В.; Бурлака, В. Г. 2005. Моторные топлива и масла для современной техники. *Монография*. Киев.
- Черняк, Л. М.; Бойченко, С. В.; Радомська, М. М.; Продченко, Н. А. 2013. Перспективи дослідження впливу оксигенатів на фізичну стабільність бензинів.
- Внукова, Н. В. 2011. Альтернативне паливо як основа ресурсозбереження і екобезпеки автотранспорту / Внукова, Н. В.; Барун, М. В. // Альтернативные источники энергии. - №9 (91) – С. 45-55.
- Бойченко, С. В.; Личманенко, О. Г. 2015. Науково-технічний збірник «Вісник національного транспортного університету». Причинно-наслідковий аналіз модифікації складу авіаційних бензинів.
- Бойченко, С. В.; Кучма, Н. М.; Єфименко, В. В.; Тітова, О.; Черняк, Л. М. 2006. Химмотология. Навчально-методичний посібник.
- Гуреев, А. А.; Фукс, Н. Г.; Лашхи, В. Л. 1986. Химмотология.
- Полункін, С. В.; Зубенко, С. О.; Гайдай, О. О.; Кузнцова, О. В. 2010. Спиртовмісні палива // Вісник НАУ. Хімічні технології. - №2. – С. 137-141.
- Панкин, К. Е.; Иванова, Ю. В.; Кузьмина, Р. И.; Штыков, С. Н. 2011 // Химия и технология топлив и масел. - №1. – С.8-10.
- Сердюк, В. В. 2001. Альтернативные топлива: преимущества и недостатки. Сообщение 1. Оксигенатные топлива / Сердюк, В. В., Ашкинази, Л. А. 2001. // Сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Новые топлива с присадками». – С. Пб.: Академия прикладных исследований. – С.164-172.
- Асяев, А. Н. 2010. Исследование влияния качества спирта и состава углеводородной фракции на физико-химические и эксплуатационные показатели биоэтанольного топлива E85 / Асяев, А. Н., Емельянов, В. Е., Никитина, Е. А. // Технологии нефти и газа. - №4. – С. 24-27.
- Аблаев, А. Р. 2009. Биотопливо: Мышление за пределами нефтяной трубы / Аблаев А. Р. // Эколог. вестн. России. - №2. – С.23-26.
- Єфименко, В. В.; Ващенко, Ю. М. 2010. ISSN № 1813 – 1166. Вісник НАУ. № 1.
- Льотко, В.; Луканин, В. Н.; Хачиян, А. С. 2000. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. – М.: МАДИ (ТУ), -311с.