

ЖИДКОЕ БИОТОПЛИВО СОВРЕМЕННОСТИ

Аннотация: Статья посвящена исследованию и ознакомлению с современными видами жидкого биотоплива, которые в перспективе способны полностью заменить широко используемое на данный момент углеводородное горючее. Рассмотрены различные классификации биотоплива. Также рассмотрены технологии получения в конкретных странах. Проанализированы все преимущества и недостатки каждого из видов биотоплива.

Ключевые слова: Двигатель внутреннего сгорания, топливо, биотопливо, биологический бутанол, биологический метанол, биологический этанол, биологический дизель, диметиловый эфир.

Annotation: the Article is devoted to the study and introduction to modern types of liquid biofuels, which in the future are able to completely replace the currently widely used hydrocarbon fuel. Various classifications of biofuels are considered. Also considered the technology of obtaining in specific countries. All advantages and disadvantages of each type of biofuel are analyzed.

Keywords: internal combustion Engine, fuel, biofuel, biological butanol, biological methanol, biological ethanol, biological diesel, dimethyl ether.

XIX век ознаменован началом постоянного прогресса. Наука и техника не были исключением и также развивались быстрыми темпами. Все это послужило

причиной того, что ученые – изобретатели, стали искать для вновь появляющихся типов двигателей, топливо, отвечающее стандартам качества того времени, также способным обеспечивать их работоспособность. Это стало необходимо для того, чтобы эффективность работы агрегатов повышалась, ускоряя этим процессы индустриализации. Первоначально, светлые умы того времени считали, что биотопливо - наиболее перспективный продукт, первопроходцев в использовании биотоплива для своих изобретений был: *Samuel Morey*. В 1826 году он изобрел двигатель, работать которого основывалась на скипидаре и спирте.

А уже в 1876 году свет увидел первый четырехтактный ДВС, который создал *Nicolaus August Otto*. Этот агрегат мог работать на этаноле.

Следует вспомнить и такого изобретателя, как *Rúdolf Christian Karl Diéssel*. Ведь в последствие, именем этого человека стали называть шатунно-поршневой двигатель внутреннего сгорания, который воспламеняется от сжатия. Такой ДВС мог работать на арахисовом масле. Именно это и показал его автор в Париже на всемирной выставке в 1900 году. Понятие «diesel», с тех пор, стало применяться в качестве нарицательного слова.

За 4 года до этого в Америке был изобретен и представлен в массы автомобиль *Henry Ford*, название его было: Квадрицикл («*Quadricycle*»). Работал его мотор на спирте.

Через 12 лет в продаже появляется автомобиль этого же изобретателя, но под названием *Ford «Model T»*. Двигатель у такой машины, работать мог, как на бензине, так и на этаноле, а также на смеси обоих видов топлива. Изобретая свои автомобили, *Henry Ford* исходил из соображений экономии. По его мнению, пользоваться техникой, использующей в качестве топлива спирт, фермерам, будет значительно дешевле и удобнее.

Однако, в начале 20 столетия, когда стали обнаруживаться крупные нефтяные месторождения – спрос на биотопливо начал спадать. Но с течением времени отпускная цена на спирт стала уменьшаться, поскольку технология его получения стала основываться на отходах сахарной промышленности. И в

период Первой мировой войны, именно этанол активно использовался в качестве топлива. А уже в 20-х годах, когда война завершилась, в США и некоторых странах Европы, топливо из смеси спирта и бензина обрело свою популярность снова.

На протяжении длительного периода времени этанол пытался всячески заменить бензин, вытесняя последний с рынка. Однако постоянно терпел полное поражение, и полное его исчезновение, произошло уже после 1945 года.

Однако, стоит отметить, что ненадолго. В 21 веке снова начал проявляться интерес к альтернативным видам топлива. Уже в 1970-х годах, когда было введено эмбарго странами ОПЕК на импорт нефтяной продукции из Европы и США.

Экономисты занялись подсчетами, и пришли к выводу, что развивать производство альтернативного топлива получается не только ликвидно, но и довольно выгодно, данная индустрия является ликвидной уже при цене в 40 долларов за баррель нефти марки Brent. В настоящее время, курс на нефть сначала возрастал на 230%, затем опускался, но и сейчас при не самой высокой стоимости за последние 10 лет составляет около 70 долларов.

Также, становится известно о том, что добываемые углеводороды, служат для огромного количества вещей. Д.И. Менделеев считал, что использование нефти в качестве топлива, есть не что иное, как сжигание ассигнаций в печи.

Поиск источников энергии, такой же, как получалась при сжигании топлива, являлось необходимым критерием для удешевления стоимости единиц техники и их использования, необходимо было, чтобы выделялась она, при использовании топлива из неисчерпаемых, постоянно возобновляемых ресурсов природы. Важную роль также имели:

- экономичность топлива
- показатели его экологичности
- безопасность его использования.

К такому виду неисчерпаемого природного ресурса, как раз и можно отнести биотопливо. Ведь, чтобы его получить, используется биомасса, которая

образуется благодаря синтезу биологических конверсий энергии солнца. На сегодняшний день, альтернативное топливо используется ограничено. А связано все с тем, что технологии, которые используют для получения такой энергии, имеют меньшую эффективность и существенно дороже, по сравнению с энергией, полученной от традиционного вида топлива.

В глобальном масштабе, важность альтернативного топлива еще недостаточно велика. В наши дни, в развитых странах получение биотоплива находится на третьей стадии своего развития. Первый этап представлял собой производство биогаза, и начало он брал с 80-х годов, вплоть до конца 20 века. Уже следующий этап начал свое формирование с начала 21 века. Здесь началось производство жидкого моторного топлива, которое представлено биодизелем и биоэтанолом. Производили их из такого сырья, как зерновые, сахаросодержащие и масличные продукты. Но, уже на смену второму этапу, приходит третий. В это время начинается развитие производства бионефти, а также биобутанола, и некоторых других продуктов горения.

Классификация видов топлива

Биологическое топливо является производным животноводческого или растительного сырья, полученное из отходов природной промышленности или продуктов жизнедеятельности.

Классифицировать биотопливо можно по таким показателям:

- поколение;
- агрегатному состоянию.

Жидкое биотопливо

Такое вещество получают путем переработки растительного сырья (сахарные тростник и свекла, рапс, кукуруза), такими технологиями, которые за основу берут естественные природные процессы (брожение). Данный вид относится к перспективному классу биотоплива. Получить его можно из множества растений, от пшеницы и до отходов деревообрабатывающей промышленности. Основное применение такой энергии, это двигатели.

Жидкое биотопливо можно подразделить на:

- биологический бутанол;
- биологический метанол;
- биологический этанол;
- биологический дизель;
- диметиловый эфир.

Биоэтанол представляет собой привычный этанол, который применяется как биотопливо. Добывается он при помощи переработки растительного сырья. Это сахарный тростник и свекла, а также рапсовый эфир. Биоэтанол является мировым лидером среди производства жидкого топлива для моторов.

Наиболее популярные способы получения данного топлива: спиртовое брожение(микробиологический) и способ гидратации этилена(синтетический). В результате брожения, на выходе получается жидкость, в которой содержится не более 15% этанола. Если раствор был бы более концентрированным, то дрожжи просто погибли бы. Такое топливо требует дополнительной очистки и концентрирования, которое достигается дистилляцией.

В масштабах промышленности, этиловый спирт можно получить из сырья, которое содержит целлюлозу (это солома или древесина), предварительно гидролизованная. Получаемую смесь оставляют бродить.

Важной характерной особенностью биоэтанола является баланс топлива. Имеется ввиду правильное соотношение выделяемой энергии к затратам энергии, которые необходимы для его производства. Среди недостатков топлива можно выделить тот факт, что при его сгорании, в выхлопных газах моторов можно обнаружить альдегиды. Они являются вредными для живых организмов, и приравниваются к ароматическим углеводородам.

В 2009 году масштабное производство этанола составило 73,9 млрд. литров. А в 2010 году выросло до 85,9 млрд. литров (рост составил 16,2%). Производство его в 2010 году смогло заместить потребление нефти в эквиваленте 370 млн. баррелей. Уже в 2011 году производство составило 103,2 млрд. литров. И примерно 80 % всего произведенного сырья, было использовано в качестве биотоплива.

Больше всего биоэтанола производится в США, данный показатель составляет 54,2 млрд. литров. После штатов следует Бразилия – 22,9 млрд. литров. В США получают топливо преимущественно из кукурузы, а в Бразилии из сахарного тростника. Последнее, является более выгодным сырьем для получения биоэтанола. В США, для производителей такого топлива, правительством предоставляется налоговый кредит. Он достигает 0,51 доллар за галлон биоэтанола.

В Бразилии стоимость этанола невелика, поскольку работники, занятые сбором сахарного тростника имеют невысокую заработную плату.

Агрегатное состояние

Разновидностью жидкого биотоплива является биометанол. Получается он на основе древесного спирта, который образуется посредством перегонки древесных отходов и конверсий метана. Получить биомассу можно посредством культивирования фитопланктона в водоемах с искусственной средой, которые создаются на побережьях морей.

В настоящее время данная производственная технология топлива является одной из более перспективных. А связано все с тем, что от остальных она отличается наиболее большим процентом получаемой биомассы (примерно 110 т/га фитопланктона). Также нет высоких требований к той площадке, где оно производится (не имеет значения насколько плодородна почва, а также наличие пресной воды поблизости). Процесс добычи не будет конкурентным сельскому хозяйству, а также он имеет большой процент энергоотдачи.

Процессы, которые относятся к вторичным, представлены в виде метанового брожения масс, которые в дальнейшем поддаются гидроскилированию метана, чтобы получить метанол. Данный фактор, а также и то, что чистый спирт обладает недостаточной летучестью, привели к необходимости его смешивания с бензином. Для получения готового топлива, были введены свои стандарты. Так, полученным разработкам, правильным считается соотношение биометанола М85, который содержит 85% метилового спирта и 15% бензина.

Метанол, сам по себе, является ядом, который оказывает действие на сосудистую и нервную системы. Его токсическое воздействие связано с метаболическими окислениями, которые происходят в организме и приводят к «летальному синтезу». Если принять внутрь небольшое количество метанола (5-10 мл), то произойдет тяжелое отравление, одним из последствий которого становится слепота. А прием немного большего количества (даже 30 мл) может привести к летальному исходу.

Когда метанол применяют в виде топлива, следует понимать, что его массовая энергоемкость будет примерно на 50% меньшей, нежели у бензина. Но при этом, теплопроизводительность таких смесей, при их сгорании в двигателе, отличаться будет незначительно. Качество наполнения цилиндров повышается, за счет чего увеличивается полнота сгорания смесей. Это приводит к увеличению мощности двигателя примерно на 15%. У гоночных автомобилей, двигатели, в основном, работают на этаноле с повышенным октановым числом, по сравнению с бензином. Степень сжатия составляет более 15, при этом, обычный карбюратор ДВС имеет степень сжатия не более 10,1.

Применяться метанол может не только в классических ДВС, а также и в некоторых специальных топливных элементах, которые необходимы для получения электричества.

Основные преимущества биометанола:

- небольшой объем выбросов углекислого газа;
- в процессе производства использование продукции переработки сельскохозяйственных отходов.

Среди недостатков биометанола можно выделить:

- невысокий КПД – не превышает 68%;
- пламя, не имеющее цвета – является аварийно небезопасным;
- проект может окупиться полностью не менее чем за 20 лет;
- метанол способен отравлять алюминий.

Использовать алюминиевые карбюраторы и инжекторные системы подачи топлива в двигатель, является проблемным.

Кроме этого, метанол может втягивать воду, за счет чего происходит частое засорение систем подачи топлива. Наравне с этанолом, метанол имеет повышенную пропускную способность к пластмассовым испарениям. В первую очередь, это касается плотного полиэтилена. Такая характеристика метанола значительно увеличивает риск эмиссии летучих веществ, что, в свою очередь, приводит к уменьшению концентрации озона, а также может усиливаться солнечная радиация, и уменьшаться летучесть топлива при холодном климате.

Двигатели, которые функционируют на метаноле, часто имеют трудности с запуском. Кроме этого, расход топлива у них увеличивается, чтобы достичь рабочей температуры. Не исключается попадание метанола к источникам питьевой воды, вследствие чего происходит ее отравление. Данная конфигурация еще не полностью исследована, но опыт утечки метила с последующим загрязнением воды уже был.

Во всем мире функционируют приблизительно 90 заводов, производящих метанол. Объемы его выпуска являются незначительными, и составляют примерно 4% в год.

Можно выделить пять наиболее перспективных проектов по биметанолу, собранных со всего мира. К ним относятся:

- BioMCN, Голландия;
- Smithfield Foods , США;
- North Shore Energy Technologies, США, в перспективе;
- Norin Green, Япония, в перспективе;
- Atlantic Biomass США, в перспективе.

Наибольший процент потребления метанола относится именно к транспортным средствам. Хотя к 2020 году в секторе транспорта доля должна стать уже более 6%, биометанол остается еще на достаточно низком уровне, примерно 0,2%.

Больше всего метанол применяется в качестве альтернативного топлива, чтобы заменить бензин. Но, кроме этого, уже разработана технология, чтобы на его основе создавать угольную суспензию. В США она уже получила название

метакол. Данное топливо можно будет применять в качестве энергии, чтобы отапливать помещения, заменяя мазут.

Данный раствор не требует специфических котлов, и отличается повышенной энергоемкостью, в отличие от водоуглеродного топлива. Со стороны экологичности, данное топливо наносит меньший вред, в отличие от привычных вариантов топлива, полученного путем синтетической переработки угля.

Биобутанол (бутиловый спирт), представляет собой бесцветную жидкость с наличием характерного запаха сивушных масел. Производство бутанола берет свое начало в 10-х годах 20 века. Тогда, для его получения использовались бактерии *Clostridia acetobutylicum*. Среди разновидностей бутилового спирта триметилкарбинол считается ядовитым.

В промышленных масштабах получение бутанола связано с синтезом пропилена, где используются никель-кобальтовые катализаторы.

Так же, как и этиловый спирт, бутанол получить можно:

- в процессе переработки сахара или крахмалов растительных культур;
- вследствие синтеза химического сырья.

Бутанол, который был получен из биомассы, именуется биобутанолом. При этом, характеристики у него будут те же самые, что и у бутанола, который был произведен из химического сырья.

Топливо довольно широко применяется в промышленности. Он лишен коррозионных свойств, и легко передается имеющейся инфраструктурой. Его можно смешивать с привычным топливом. А энергоемкость данного топлива схожа с той, которой обладает и бензин. Помимо того, что бутанол используют в качестве топлива, также он является сырьем при производстве водорода.

Суть биобутанола очень схожа с биоэтанолом. Но последний, является менее калорийным, и более затратным. И сточки зрения технологии производства, биобутанол получить гораздо легче, нежели биоэтанол.

В качестве сырья, для получения биобутанола можно использовать:

- свекла и сахарный тростник;

- пшеница;
- кукуруза;
- в перспективе целлюлоза.

При использовании технологии брожения, одна тонна картофеля может произвести 25 м³ водорода, 340 кг бутанола и 110 кг ацетона. Это означает, что если взять один га картофельных плантаций, то получится 12 тонн бутанола, 875 м³ водорода, 4 тонны ацетона. Если в качестве сырья использовать сорго, то получится 114 тонн бутанола, 40 кг ацетона и 30 м³ водорода из одной тонны стеблей.

Биобутанол имеет свои преимущества:

- содержание энергии в нем на 25% больше, нежели в биоэтаноле;
- использование его является более безопасным, ведь испарений в нем в разы меньше, и летучесть его также гораздо меньше, нежели у бензина.
- Его применение в виде оксигената не потребует значительных пропорциональных изменений в смесях, при его использовании в летнее и зимнее время.

Бутанол является менее агрессивным, поэтому осуществлять его транспортировку проще. В отличие от того же биоэтанола, для которого подойдут только водный или железнодорожный транспорт.

Также, бутанол может быть смешан с бензином. Кроме этого, он может полностью его заменять. В отличие от биоэтанола, который использовать можно лишь в качестве добавки, причем для этого потребуются значительные переделки мотора. В основном, на сегодняшний день, используют такие смеси, в которых биоэтанол составляет 10%.

При получении бутанола появляется возможность решения проблем, суть которых кроется в инфраструктуре водородного снабжения. Бутанол, на выходе представлен более высокой энергоемкостью, в отличие от этанола, 10 Вт-ч/г и 8 Вт-ч/г соответственно.

С экологической точки зрения, бутанол не наносит такого вреда, поскольку при его горении не появляются окисления азота или серы. При этом, он более

экономичен, чем биоэтанол наряду с бензином, и способен улучшить эффективность двигателя автомобиля, повышая его пробег.

Российская Федерация является одним из крупнейших производителей бутанола. Только за последние годы, более 60% топлива, которое было произведено в стране, было экспортировано на внешние рынки. Бутиловый спирт в Российской Федерации производится такими компаниями:

- «Салаватнефтеоргсинтез»,
- «Сибур-Химпром»,
- Ангарская НХК,
- «Невинномысский Азот».

Каждый год Америка производит 1,39 млрд. л бутанола. По своей энергоемкости, бутанол имеет схожие свойства с бензином. С 2007 года в Англии, биобутанол стали продавать как добавку к бензину.

Диметилвый эфир является абсолютно экологически чистым топливом, которое не содержит серы. А оксиды азота в отработанных газах, составляют на 90% меньше, нежели в бензине. Чтобы использовать ДМЭ, не потребуется каких-либо фильтров. Здесь необходимо будет системы зажигания и питания двигателя. Здесь имеется ввиду необходимость установки газобаллонного оборудования. Если автомобиль оборудован LPG двигателем, то переделка не потребуется, при условии его содержания 30% в топливе.

Сырье, которое применяют для получения ДМЭ:

- биомасса;
- отходы производства целлюлозы и бумаги;
- природный газ;
- уголь.

В 2006 году был принят единый стандарт по использованию ДМЭ в виде альтернативного топлива. Правительство Китая намерено продолжать поддержку производства ДМЭ, который может стать альтернативой дизельному топливу. Планы Китая на ближайшие пять лет, это производство ДМЭ до 10 млн. тонн в год.

В Российской Федерации был подготовлен проект Департаментом транспорта о необходимости расширения сфер применения ДМЭ, а также и других разновидностей альтернативного топлива для двигателей. КАМАЗ, Volvo и Nissan разрабатывают автомобили, моторы которых, будут способны работать на диметиловом эфире.

Биодизель относится к довольно новой разновидности топлива, которое является экологически чистым. А для его производства используют растительные жиры.

Считается, что биодизель имеет возобновляемый источник энергии, поскольку производится он из растительного масла. Его можно применять и в обычных двигателях внутреннего сгорания, при этом, переделка их конструктивных особенностей не потребуется. Использовать его можно, как отдельный вид топлива, так и в качестве добавки к дизельному топливу. Также, в качестве смеси используют рапсовое, пальмовое, соевое и другие масла, морские водоросли и отходы из пищевой промышленности.

Чаще всего, в Европе применяется биотопливо на основе рапса. А в качестве перспективных источников сырья, в настоящее время, принято считать морские водоросли.

Департамент Энергетики Америки провел оценочную экспертизу, в результате которого было выявлено, что с 1 акра земли (примерно 0,4 га), получить можно 255 л соевого масла. Пальмового масла получится примерно 2400 л. Если рассматривать такую же площадь на поверхности воды, то получится примерно 3570 баррелей нефти.

Компания Green Star Products просчитала, что один акр земли даст 48 галлонов масла сои и 10 тысяч галлонов из водорослей. Применяется биодизель в ДВС, как в качестве самостоятельного топлива, так и в виде смесей наряду с дизтопливом. Как правило, смеси такого характера имеют специальные маркировки. К примеру, в штатах, чтобы обозначить смеси дизтоплива, применяется маркировка B, а после нее указывается число, которое обозначает процентное соотношение биодизеля (например, B5, это 5%).

Применение таких смесей не требует внесения конструктивных изменений в двигателя. Экологический эффект от использования биодизеля:

- попадание биодизеля в воду не причиняет урона животному и растительному миру;
- в почве и воде биодизель практически полностью распадается примерно за месяц;
- при сгорании биологического дизеля выделяется точно такой же объем углекислого газа, который был потреблен растениями, которые являются сырьем для его производства, за весь период;
- в отличие от природного дизельного топлива, биодизель почти не содержит серы.

Практические и технические преимущества биодизеля:

- ✓ полученный в ходе производства биологического дизеля жмых, можно применять в качестве корма для скота, что позволяет наиболее полно использовать сырьевую биомассу;
- ✓ биологический дизель имеет уникальные смазочные свойства.

Если из минерального дизеля убрать сернистые соединения, то он утратит свои способности к смазке. Биодизель, хоть и содержит небольшое количество серных соединений, отличается высокими смазочными свойствами. За счет этого, период службы двигателя значительно повышается. Связано это все с его химическим составом, в котором содержится кислород.

- ✓ Увеличение срока службы двигателя.

Если двигатель работает на биологическом дизеле, то одновременно происходит смазка его подвижных элементов. Вследствие этого и достигается повышение срока его службы, данные результаты показали проводимые испытания. Помимо самого двигателя, меньшему износу подвергается и топливный насос, примерно на 65% срок его службы возрастает. Также, отсутствует необходимость осуществлять переделку самого мотора.

В качестве воспламеняющего порога принято считать температуру, которая может быть более 150°C. Данный факт позволяет горючему считаться достаточно неопасным, в сравнении с другими.

В качестве дополнительной производной получается глицерин. Он применяется в довольно разнообразных отраслях промышленности. Материал, который очищен, можно использовать при производстве многих моющих средств. Всем известно, что одной из составляющих мыла и является глицерин. Если он пройдет более углубленную очистку, то его применяют в фармакологии. Если к нему добавить кислоту фосфора, то на выходе получатся соответствующие удобрения.

Негативные стороны:

- В холодную погоду требуется дополнительный подогрев топлива, которое поступает из бака в насос. Также можно использовать 20 % смеси биодизеля.
- Сравнительно недолгий период хранения (не более трех месяцев).

Применение биотоплива, к примеру этилового спирта или дизельного топлива, которое было получено из специально для этих целей выращенных растений, как правило, рассматривают как весомый шаг к уменьшению количества вредных выбросов углекислого газа в окружающую атмосферу. Следует понимать, что при сжигании такого топлива, углекислый газ попадает в атмосферу совершенно так же, как и при сжигании природного топлива (к примеру, газа или нефти). Здесь разница будет в том, что получение растительной массы, из которой было образовано топливо, происходило путем фотосинтеза. Это означает, что весь процесс имеет прямую связь с потреблением.

А вот использование биотоплива уже может рассматриваться в качестве нейтральной к углеводам технологии. Все начинается с того, что из атмосферы углерод связывают растения, после чего он выделяется при сжигании тех веществ, которые происходят от этих растений. Но стоит понимать, что получение биотоплива в значительных масштабах, с постоянно расширяющимся производством, может привести к уничтожению многих природных экосистем. Также, утрачивается и разнообразие биологических разновидностей. Хотя биотопливо и имеет множество положительных моментов, значительное увеличение его производства может нанести серьезный урон на сохранность дикой природы, особенно, когда речь идет о тропиках.

Применять в качестве сырья кукурузу, чтобы получить этанол, требует большого расхода воды, добавления пестицидов и удобрений. И если суммировать все затраты, которые требуются на производства этанола (вырастить кукурузу и довести ее до состояния топлива), то они будут практически сопоставимы с теми, которые требуются, когда используется традиционное ископаемое топливо.

Для этанола, полученного из кукурузы, коэффициент, который оценивает выделения парниковых газов на некоторый энергетический выход, будет равен 81-85. Если сравнивать, то соответствующий показатель для бензина (из природного топлива) составляет 94, а для обычного дизельного топлива этот показатель равен 83.

При использовании сахарного тростника, в качестве сырья, результативные показатели уже несколько лучше, и составляют они примерно 4-12 кг. Но настоящий положительный скачок можно наблюдать при переходе к использованию многолетних трав, например одного из видов дикого проса.

Заключение

Современный мир постепенно попадает в эпоху биоэкономики. Данная ее разновидность, основана на биотехнологиях, которые используют возобновляемое сырье для производства энергии и материалов. Значительное количество стран уже внедрили свои современные технологии. Остальные же только пытаются попасть на такой рынок, где множество новых разработок.

Здесь ясно одно, что будущее за растительным биологическим топливом. Запасы нефти, газа и угля не бесконечны и практически не возобновляемы. Поэтому производить топливо придется из всего, что для этого подойдет.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ракитова О.С. Производство биотоплива и утилизация отходов// Журнал "Международная биоэнергетика" – 2010. – с. 16-22.
2. Биоэнергетика в России: перспективы развития.// Аналитический вестник. Выпуск 12. - Москва, 2008. – с. 15-36.

3. Васильев И.П. Экологически чистые направления получения и использования топлив растительного происхождения в двигателях внутреннего сгорания. - Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2005. - №1. - с. 19-25.