

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА МОТОРНОГО ТОПЛИВА

канд. техн. наук, доц. Р.А. АНДРЕЕВА, канд. техн. наук, доц. А.В. ДУДАН,
канд. техн. наук, доц. Т.В. ВИГЕРИНА
(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)

Рассмотрены альтернативные виды моторных топлив и проведен их сравнительный анализ по энергетической эффективности, оцениваемой энергетическим балансом. Анализ существующих технологий производства топлива показал, что в любом государстве их производят с учетом национальных ресурсов и интересов с учетом наличия в значительных объемах воспроизводимого сырья. В настоящее время в большинстве случаев используются нефтяное и газовое топлива, но возрастающие требования к экологичности мотивируются через ужесточение норм выбросов в окружающую среду и приоритетное финансирование «зеленых» проектов как со стороны государства, так и частных инвесторов. Поэтому в работе рассмотрены, обобщены и структурированы способы производства моторных топлив – биоэтанола, биодизеля, водорода и аммиака, приведено используемое сырье, способы переработки и отходы переработки для каждого из рассматриваемых вариантов топлива.

Ключевые слова: моторное топливо, двигатель внутреннего сгорания, альтернативные топлива, биоэтанол, биодизель, аммиак, «зеленые» проекты.

Введение. Автомобили в настоящее время стали повседневной потребностью общества. Долгие годы в качестве моторного топлива использовали нефтяной бензин (керосин). Сжигание углеводородов в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) сопровождается выбросами в атмосферу ряда газообразных соединений, негативно влияющих на экологию и приводящих к ухудшению климатических показателей. В силу этого требования к качеству топлива постоянно усиливаются, вводятся жесткие нормативы по содержанию в топливе ряда элементов (серы, азота и др.). Производители топлива, в свою очередь, постоянно совершенствуют технологические процессы его производства. Однако сжигание углеводородного сырья всегда сопровождается выбросом в атмосферу большого количества оксидов углерода, что связано с глобальной нарастающей проблемой – планетарным изменением климата, потеплением, таянием льдов, подъемом уровня Мирового океана и исчезновением в будущем не только отдельных городов, но и государств.

Поскольку парк автомобилей неизбежно увеличивается, то назрела необходимость поиска видов топлив, альтернативных бензину, и изменения, при необходимости, конструкции двигателей.

Основная часть. Характеристика как применяемого топлива, так и востребованного в будущем (по прогнозам специалистов) приведена в таблице 1. Энергетическая эффективность оценивается энергетическим балансом, который определяется соотношением количества энергии, высвобождаемой при его сжигании и затрачиваемой на его производство.

Таблица 1. – Автомобильные топлива и их сравнительная характеристика

Показатели	Топливо				
	NH_3	H_2	Бензин нефтяной	Спирт технический (биоэтанол)	Метиловый эфир рапсового масла (биодизель)
Теплота сгорания, кДж/кг	19000–22500	120000	44400	30000	37400
Энергоемкость производства топлива, кДж/кг	29000–4000*	57600–144000	4000–7600	27000	47750
Энергетический баланс (э.б.)	0,56–0,65	0,83–2,1	5,84–11,1	1,1–36	0,78–2,5

*Энергоемкость производства аммиака приведено только по затратам тепловой энергии (без учета затрат электроэнергии).

В Беларуси сегодня помимо традиционных автомобилей, работающих на нефтяных топливах, наметилась тенденция к популярности электромобилей.

В странах Латинской Америки, США, ЕС и др. уже десятки лет используют топлива, произведенные из растительного и животного сырья этих стран (либо его отходов). В качестве такого сырья применяют зерновые культуры (кукуруза, соя), сахарный тростник, а также жирно- и маслосодержащие продукты. В богатых древесной страной популярны смеси, полученные из отходов ее переработки (щепа, кора, ветки, опилки и др.). Это обусловлено тем, что древесные субстраты содержат ферментативно или гидролизно осаживаемые компоненты – целлюлозу и крахмал, из которых можно производить технический спирт [1–4]. Перспективно использование жидких продуктов пиролиза (термодеструкции при дефиците или полном отсутствии кислорода) древесных хвойных пород. Например, смесь из 70% живичного скипидара, 25% спирта (метанола) и 5% ацетона (фракций сухой перегонки смолистой древесины сосны) рассматривается как замена бензина марки А-80. При

перегонке возможно использование всех отходов древесины: сучьев, пней, коры и др. [7]. Топливо, произведенное из растительного сырья (преимущественно в составе биомассы – углеводов), получило название биоэтанол (биобутанол и др.) [5; 6], а из жиросодержащего субстрата – биодизель.

Поиски сырья и технологии производства топлива в любом государстве индивидуальны и производятся с учетом национальных ресурсов и интересов. Учитывают присутствие в значительных объемах воспроизводимого сырья (например, лесов, водных и земельных ресурсов), обеспеченность пищевыми и энергетическими ресурсами населения страны и наличие экологических проблем.

В состав любого топлива (производного с использованием солнечной энергии или ископаемого углеродсодержащего топливного субстрата) входят такие элементы, как *C*, *H*, *O*, *N* и в некоторых случаях *S* (таблица 2). Сгорание этих элементов (за исключением *O*) сопровождается образованием оксидов. Теплотворная способность топлив растет с ростом содержания углерода и водорода. Если сжигание водорода сопровождается образованием воды, то сгорание углерода дает, непременно, оксиды углерода.

Таблица 2. – Состав и теплотворность топлив

Органический субстрат	% масс. от сухого органического вещества			Теплотворность, МДж/кг
	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>O</i>	
Дрова	50	6	44	18,9
Этиловый спирт	52	13	35–50	25–30
Каменный уголь	76–95	3,5–6,3	15–17	20,9
Нефть	83–85	11–14	0,5–2	43–44
Газойль	86,3	13,4	0,1	46,9
Бензин	85,1	14,9	–	44,4

Только аммиак (NH_3) и водород (H_2) при сгорании в ДВС образуют минимальное количество оксидов углерода и серы (см. таблицы 1, 2). В силу этого практически исчезают такие бесполезные остатки горения топлива, как сажа (*C*), *CO* и *CO_2* и др. Отсутствие серы снимает и другие экологические проблемы, связанные с наличием в продуктах сгорания кислых газов, провоцирующих смог и кислотные дожди.

В публикуемых материалах о новых видах моторного топлива все чаще упоминается аммиак. Намечается, что аммиак будет применен как корабельное топливо, являясь углероднейтральным субстратом. Его легко и безопасно перевозить и хранить в жидком виде, минимально загрязняя воздух, почву и воду. Предполагается, что он будет производиться с использованием «зеленого водорода» (электролиз воды). Эту технологию продвигает ряд стран – Норвегия, Финляндия, Германия, Корея, Малайзия и морского общества Регистра Ллойда. В 2023 г. сообщалось о планах ввести в эксплуатацию первое судно на аммиаке (Норвегия). Аналогичные задачи решают в США и Японии. Кроме того, аммиак «зеленый» планируется использовать также как автомобильное топливо (Китай) [7; 8] при изменении модификации двигателя.

Помимо прямого использования аммиака в качестве топлива, ведутся исследования и практические работы по его применению как субстрата для производства водорода и азота (побочный продукт). Для этого используют отходы нефтепереработки, а именно, стадии гидроочистки продуктов вторичной переработки, например, газойля. Обусловлено это тем, что азотсодержащие соединения в исходной нефти содержатся в пределах от 0,02 до 0,4% масс., достигая в отдельных случаях до 0,8–1,5% масс и даже 10–12% масс.

При первичной переработке нефти азотсодержащие соединения концентрируются в высококипящих фракциях нефтепродуктов, являясь составной частью смол и асфальтенов. Во вторичной переработке также предусмотрена гидроочистка (H_2) продуктов, при этом образуется смесь газов – углеводородов, водорода, сероводорода, аммиака и др. После отделения H_2 из смеси на рециклинг технологического процесса гидроочистки и отпаривания смесь чаще всего сжигают на «факеле» или используют как сырьевую смесь, содержащую H_2S , для производства серной кислоты или коллоидной серы.

В настоящее время отрабатывают инновационную технологию выделения NH_3 из газов гидроочистки нефтепродуктов и последующего его разложения в процессе крекинга в специальном трубчатом реакторе на катализаторе. Кроме того, установлено, что разложение NH_3 (его диссоциация) возможно прямо в ДВС [12]:



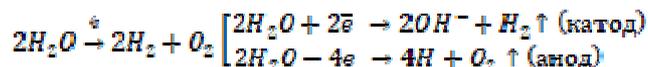
Компания Air Liquide планировала построить пилотную установку крекинга аммиака в бельгийском порту Антверпан в 2024 г. Исследователи университета Принстона и Райса предложили технологию выделения H_2 из аммиака с помощью обычных светодиодов (2022 г.). Создание неэнергоёмких технологий производства H_2 из NH_3 позволит обеспечить синтез водородного топлива практически во временных рамках добычи и переработки нефти.

Основными научными исследованиями и коммерческими проектами в настоящее время стали варианты производства водорода – энергоносителя будущего, в т.ч. для автомобильного транспорта. Одновременно

существуют три направления производства: «коричневого» H_2 (сырье – водяной пар и твердое углеродное топливо); «голубого» H_2 (сырье – водяной пар и природный углеводородный газ и его каталитическая конверсия) и «зеленого» H_2 (сырье – вода и ее электролиз). Как видно, основное сырье во всех случаях – вода, а в качестве восстановителей ионов водорода воды служат углеводные субстраты («коричневый» и «голубой» H_2) или электроотрицательные электроды электролизеров. Приблизительно до 60–70% от общего объема производства осуществляется по технологии «голубого» водорода, особенно в странах с достаточно высокими запасами природного газа (метан), тесно увязанной с процессами нефтепереработки, где требуются значительные объемы водорода для гидроочистки нефтяных топлив.

В 20-х годах XXI в. в связи с ужесточением требований в охране окружающей среды, а также дефицитом в некоторых странах природного газа начинаются исследования и реализация проектов по производству «зеленого» водорода. Кроме того, с ростом числа атомных электростанций значительно удешевляется энергия, используемая в этом процессе.

В России был заявлен амбициозный проект строительства установки «зеленого» H_2 на Сахалине – 100 тыс. т/год («Росатом») с целью экспорта энергоносителя в Китай и др. страны Азии. Однако лидером этого направления стал Китай, в планах которого строительство 600 заводов, из которых в 2025 г. уже введены в эксплуатацию 150. В 2025 г. Китай произвел 36,5 млн т водорода, причем более половины производства использовало энергию возобновляемых источников. Индийская нефтегазовая компания Bharat Petroleum открыла производство «зеленого водорода» мощностью 5 МВт на НПЗ Бина (Bina), производительностью 2,14 т/сут. Компания планирует построить установки до 10 ГВт на возобновляемых источниках энергии до 2040 г. Для реализации проекта по производству «зеленого водорода» необходимы вода высокого качества, достаточно дешевая электроэнергия и эффективные электролизеры. Реакция электролиза:

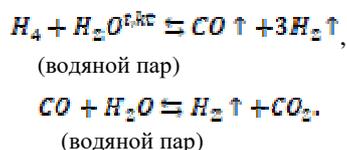


Полученную газовую смесь надо разделить на водород и кислород, поскольку гремучий газ чрезвычайно взрывоопасен.

Электроды чаще выполнены из инертного металла, таких как платина или иридий. Повышает эффективность процесса избыточная энергия в виде перенапряжения и добавки электролита или электрокатализатора.

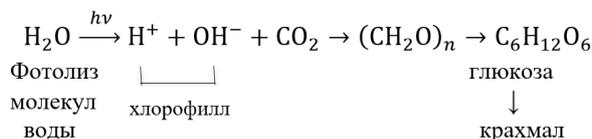
В 2025 г. компания «Tesla» Илона Маска, производящая автомобили, заявила о разработке нового типа водородного двигателя на воде – «водяного двигателя», без раскрытия деталей химического и физического процесса, упоминая, что в основе его лежит реакция «обратного электролиза». Можно предположить, что производимый электролизом из воды водород вновь объединяется в двигателе с кислородом; иными словами, движущей силой становится «взрыв» смеси. При этом вновь образуется вода (пар) и энергия, а электролиз можно будет реализовывать с помощью солнечной энергии от солнечной батареи. Практическое применение водорода будет возможно как топлива (прямым сжиганием) либо как источника потока электронов. Разделение молекул водорода на поток электронов и протонов происходит с помощью тонкой полимерной мембраны (PEM). Повысить эффективность электролиза возможно также при использовании сверхкритической воды (SWE), температуре выше 375 °С и давлении более 22,1 МПа [7; 8].

В государствах с большими запасами природного газа применяется, в основном, технология паровой конверсии метана, о которой упоминалось ранее. Около 25–40 % исходного газа расходуется как топливо процесса. Основные уравнения процесса паровой конверсии CH_4 :



Конечным продуктом является смесь паров воды и газов. Затем идут последовательно стадии очистки (в основном от CO_2) и осушки газа водорода, который используется на НПЗ для гидроочистки нефтепродуктов.

Исторически сложилось так, что паровой конверсии подвергали дешевый и доступный углеродсодержащий субстрат – отход древесины (Германия). Целевой продукт процесса – «водяной» газ (смесь H_2 , CO , CO_2 , N_2 , водяной пар), который использовался как топливо. Позже древесные отходы стали рассматриваться как источник возобновляемого в процессе фотосинтеза углеродсодержащего сырья – клетчатки, целлюлозы, крахмала. Уравнение фотобiosинтеза в хлоропластах растений:



Таким образом, под воздействием солнечной энергии идет процесс распада молекул воды (фотолиз) с образованием ионов водорода, которые в хлоропластах растений благодаря ферментам (биокатализаторам) соединяются с углекислым газом атмосферы, образуя первичные органические углеродосодержащие соединения.

Крахмал, целлюлоза и клетчатка растений могут служить сырьем для получения другого горючего топливного ресурса – технического спирта. Для этого древесное сырье гидролизуют (чаще H_2SO_4) с получением в итоге сахаросодержащего водного субстрата. На нем осуществляется синтез микробной дрожжевой биомассы (ферментация) и спиртов как продуктов их жизнедеятельности. Поэтому еще в СССР в 1930–70 гг. действовала гидролизная промышленность (более 40 заводов, в т.ч. в Бобруйске), которая производила технический спирт и фурфурол, широко применяемые в химической и нефтеперерабатывающей промышленности. С 2000 г. гидролизный спирт стали использовать (10% об.) в виде добавки к моторному топливу в СНГ.

Спирты как альтернативу бензину применяли в мире с начала 90-х годов XX в. В Бразилии около 7 млн автомобилей ездили на биоэтаноле и около 9 млн использовали смесь спирта с бензином (газохол). Г. Форд создал специально для спиртосодержащего моторного топлива двигатель, который мог работать на смеси бензина и этанола в любых соотношениях.

Помимо технических спиртов в качестве моторного топлива стали рассматривать растительные жиры и масла (и их эфиры), а также масложировые отходы производства. Связано это с тем, что растительные жиры дают растения неприхотливые к климатическим и почвенным условиям. Они обладают высокой теплотворной способностью (см. таблицу 1) за счет большой доли *C* и *H* (более 80–90% в сухом органическом компоненте массы). Американские ученые предложили получать масла из микроводорослей, способных расти в искусственных условиях в фотореакторах. В результате фотобиосинтеза было получено топливо, которое предполагалось использовать в двигателях самолетов. Для улучшения качества масел как моторного топлива их подвергают гидроочистке и трансэтерификации (повышению испаряемости). Соответственно, новые виды топлива получили названия с приставкой био-: биодизель, биокеросин. Германия создала свой стандарт для всех автопроизводителей Европы (Din 51606) – биокеросин, чаще биодизель, который смешивают (до 20% об.) с нефтепродуктами. В США и Европе используют смесь с 10% об. добавкой указанного вещества.

В Белоруссии на ПО «Азот» (Гродно) на основе рапсового масла производят метиловый эфир рапсового масла (МЭРМЕМ 14.214.2003). Технология производства простая: смешиваются масло, метанол и серная кислота (катализатор). После смешения и отстаивания смесь разделяется на 3 слоя: биодизель (МЭРМ), мыло (глицерат натрия) и глицерин. В 2019 г. объем производства составил 417 тыс. т, а в 2023 – 578 тыс. т. Установлено, что рапсовое масло уникально по составу, обеспечивая пищевую полезность на уровне оливкового масла. Эти высокие пищевые качества обеспечивают значительный экспортный спрос на него (80–98% от объемов идет на экспорт, например, в Китай и ряд государств Европы). После отжима масла из семян рапса остается плотный остаток – шрот, белковый кормовой продукт, а растительная масса (солома) может быть использована для производства гидролизного спирта. Организация безотходности такого производства обеспечивает его высокую рентабельность.

Обобщенным показателем эффективности производства топлива является энергетический баланс (см. таблицу 1), повышению которого способствует снижение энергоемкости производства топлива. Оценка показателя носит скорее оценочный характер, чем точно обоснованный. В частности, по аммиаку, водороду и биодизелю есть энергетические резервы производства и возможность достижения значения энергетического баланса меньше единицы.

Варианты схем производства моторного топлива – биоэтанола, биодизеля, водорода и аммиака, используемое сырье, способы переработки и отходы переработки для каждого из вариантов топлива, – см. рисунок.

В настоящий момент одним из дешевых энергоносителей является электрический ток от атомных станций. Кроме того, безотходность производства также благоприятно влияет на экономические показатели.

Заключение. В Беларуси отсутствуют промышленно значимые запасы качественного углеродосодержащего топлива (нефти, топливного газа, угля и пр.), но есть лес (древесина), качественная вода подземных источников и атомная энергетика. Эти обстоятельства побуждают обратить внимание на те виды моторного топлива, которые могут быть произведены с учетом имеющихся в достаточном количестве сырья и энергии. Очевидно, что еще долгое время будет использоваться нефтяное и газовое топливо, но развитие современного, экологически безопасного производства моторного топлива будет мотивироваться через ужесточение норм выбросов в окружающую среду и приоритетное финансирование «зеленых» проектов как со стороны государства, так и частных инвесторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности производства и использования рапсового биотоплива на автотракторной технике / А.П. Уханов, В.А. Рачкин, М.А. Уханов и др. // Нива Поволжья. – 2008. – № 1 – С. 36–42.
2. Анализ способов применения биологических видов топлива в дизельных двигателях / С.Н. Борычев, А.В. Шемякин, В.В. Терентьев и др. // Вестник РГАТУ. – 2017. – № 3(35). – С. 84–88.

3. Данковцев В.Т., Лукьянченко В.В. Анализ влияния характеристик альтернативных видов топлива и смеси на рабочий процесс дизелей // Вестник СибАДИ. – 2009. – № 12. – С. 16–22.
4. Уханов А.П., Уханов Д.А., Шеменов Д.С. Дизельное смешевое топливо. – Пенза: ИО ПГСХА, 2012. – 147 с.
5. Биодиты – альтернативный вид моторного топлива для тракторных дизелей / А.П. Уханов, В.А. Рачкин, Д.А. Уханов и др. // Нива Поволжья. – 2009. – № 2(11). – С. 71–76.
6. Гарабаджиу А.В., Козлов Г.В., Галынкин В.А. Технологии «зеленого» топлива [Электронный ресурс] // Экспертный Союз. – 2019. – № 28. – URL: <http://unionexpert.su/tehnologii-zelenogo-topliva/> (дата доступа 01.12.2025).
7. Мысакова А.Г., Крюков А.А. «Зеленый» бензин: реальность или миф? // Вестник ЧелГУ. – 2024. – № 6(488). – С. 253–264. DOI: 10.47475/1994-2796-2024-488-6-253-264
8. Белов В.Б. Реализация национальной водородной стратегии Германии – основные итоги 2022 г. Ч. 2 // Научно-аналитический вестник Института Европы РАН. – 2023. – № 2(32). – С. 83–99.

Поступила 08.01.2026

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF MOTOR FUEL PRODUCTION

R. ANDREEVA, A. DUDAN, T. VIGERNINA
(*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk*)

This paper examines alternative motor fuels and conducts a comparative analysis of their energy efficiency, assessed using an energy balance. An analysis of existing fuel production technologies revealed that, in any country, their production is tailored to national resources and interests, taking into account the availability of significant quantities of renewable raw materials. Currently, oil and gas fuels are used in most cases, but increasing environmental requirements are driven by stricter emission standards and the prioritization of "green" projects by both governments and private investors. Therefore, this paper examines, summarizes, and structures the production methods for motor fuels—bioethanol, biodiesel, hydrogen, and ammonia—and provides the feedstocks used, processing methods, and processing waste for each of the fuel options under consideration.

Keywords: motor fuel, internal combustion engine, alternative fuels, bioethanol, biodiesel, ammonia, "green" projects.