

**Казанский Федеральный Университет.**  
**Кафедра технологии нефти, газа и углеродных материалов**  
**Kazan Federal University.**

**Department of oil & gas technology and carbon materials**

**Биотопливо и его влияние на углеродный след**

**Biofuels and their impact on the carbon footprint**

**Джамалов Зохид Зафарович, Djamalov Zohid Zafarovich<sup>1</sup>**

**Кемалов Руслан Алимович, Kemalov Ruslan Alimovich<sup>2</sup>**

**Кемалов Алим Фейзрахманович, Kemalov Alim Feizrahmanovich<sup>3</sup>,**

магистрант кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов<sup>1</sup>  
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии нефти, газа и углеродных  
материалов, Член Экспертного совета Российского газового общества (РГО), и.о.  
руководителя группы «Водородная и альтернативная РГО, профессор РАЕ<sup>2</sup>  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой технологии нефти, газа и углеродных материалов<sup>3</sup>

E-mail: kemalov@mail.ru<sup>2</sup>

**Аннотация.** Экологические цели включают в себя снижение выбросов углекислого газа, что является одним из важнейших мотивов для внедрения альтернативных видов автомобильного топлива. Пару лет назад биотопливо пользовалось большим спросом не только потому, что оно представляет собой эволюционное изменение и может постепенно заменять традиционные ископаемые виды топлива, но и потому, что оно казалось самым верным экологичным решением. Безусловно, становится явным, что агрессивное внедрение биотоплива любой ценой может привести к многим негативным воздействиям на окружающую среду. В данной статье предпринята попытка провести некоторое сравнение между воздействием на окружающую среду биотоплива, традиционных видов ископаемого топлива, а также некоторых других видов альтернативного топлива или режимов движения (водородные и аккумуляторные электромобили).

**Ключевые слова:** альтернатива, ископаемое топливо, диоксид углерода, биотопливо, биопродукты, водородные и аккумуляторные электромобили.

**Annotation.** Environmental goals include reducing carbon dioxide emissions, which is one of the most important motivations for the introduction of alternative fuels. A couple of years ago, biofuels were in high demand not only because they represent an evolutionary change and can gradually replace traditional fossil fuels, but also because they seemed to be the surest eco-friendly solution. Of course, it is becoming clear that the aggressive introduction of biofuels at any cost can lead to many negative environmental impacts. This article attempts to make some comparison between the environmental impact of biofuels, traditional fossil fuels, as well as some other alternative fuels or driving modes (hydrogen and battery electric vehicles).

**Keywords:** alternative, fossil fuels, carbon dioxide, biofuels, bio-products, hydrogen and battery electric vehicles.

## 1. Введение (Introduction)

В последнее десятилетие альтернативные режимы питания автомобилей стали очень популярными [1]. Несмотря на то, что нельзя пренебрегать некоторыми экономическими или стратегически-политическими причинами, основными мотивами в пользу альтернативных режимов движения являются экологические проблемы, в особенности которых лежит парниковый эффект и связанная с ним угроза климатических изменений [2, 3]. Так как преобладающее большинство автомобилей в настоящее время работают на бензине и на дизельном топливе, любые другие виды, иногда даже газ, обозначаются как альтернативные виды топлива. Однако особенно значительными видами альтернативного питания транспортных средств являются те, которые не используют ископаемое топливо, поскольку это представляет собой наиболее эффективный способ сокращения выбросов парниковых газов. Изменение климата все чаще признается серьезной проблемой. Известно, что выбросы парниковых газов (ПГ), вызванные человеком, оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Наиболее важным парниковым газом, возникающим в результате деятельности человека, является углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ). Практически вся деятельность

человека вызывает выбросы  $\text{CO}_2$ , которые приводят к изменению климата. Используя электроэнергию, вырабатываемую электростанциями на ископаемом топливе, сжигая газ для отопления или управляя бензиновым или дизельным автомобилем, каждый человек несет ответственность за выбросы  $\text{CO}_2$ . Кроме того, каждый продукт или услуга, которые люди потребляют косвенно, создают выбросы  $\text{CO}_2$ ; для их производства, транспортировки и утилизации требуется энергия. Эти продукты и услуги могут также вызывать выбросы других парниковых газов. Понимание и учет всего спектра нашего воздействия имеет решающее значение для минимизации последствий изменения климата.

Углеродный след-это "мера воздействия деятельности человека на окружающую среду с точки зрения количества производимых парниковых газов, измеряемых в единицах углекислого газа" [4]. Предполагается, что отдельным лицам и организациям будет полезно концептуализировать свое личное или организационное воздействие на глобальное потепление. Углеродный след общее количество парниковых газов, производимых для прямой и косвенной поддержки деятельности человека, обычно выражается в эквивалентных тоннах углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) [5, 6].

Иначе говоря, когда мы едем на автомобиле, двигатель сжигает топливо, которое создает определенное количество  $\text{CO}_2$ , в зависимости от расхода топлива и расстояния езды, и когда мы обогреваем наш дом маслом, газом или углем, мы также генерируем  $\text{CO}_2$ . Даже если мы отапливаем ваш дом электричеством, производство электроэнергии также может выделять определенное количество  $\text{CO}_2$ , или когда мы покупаем продукты питания и товары, производство продуктов питания и товаров также выделяет некоторое количество  $\text{CO}_2$ . Наш углеродный след-это сумма всех выбросов  $\text{CO}_2$  (углекислого газа), которые были вызваны нашей деятельностью в течение определенного периода времени. Обычно углеродный след рассчитывается за период времени, равный году.

В настоящее время выбросы углекислого газа представляют собой наиболее значительный спрос человека на биосферу. Как самый основательный компонент экологического следа, любые методологические изменения,

внесенные в расчет углеродного следа, могут значительно изменить общий след как показано на рисунке №1.

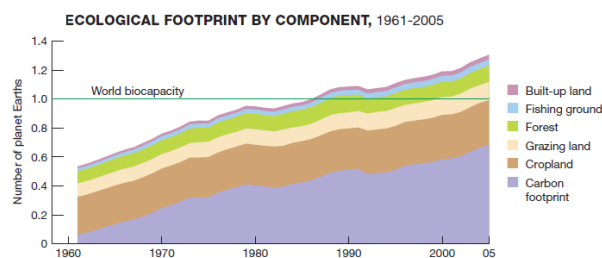


Рисунок 1. Углеродный след как компонент экологического следа [7]

Согласно Атласу экологического следа, углеродный след рассчитывается как количество лесных угодий, необходимых для поглощения данных выбросов углерода [8]. Это самая большая часть нынешнего следа человечества – хотя в некоторых странах это незначительный вклад в их общий след. Первым шагом в расчете углеродного следа является суммирование атмосферных выбросов  $\text{CO}_2$  от сжигания ископаемого топлива, изменений в землепользовании (например, вырубка лесов) и выбросов от международных пассажирских и грузовых перевозок. Эта общая сумма представляет собой объем антропогенных выбросов  $\text{CO}_2$  в глобальную атмосферу за данный год. Во-вторых, после вычитания количества  $\text{CO}_2$ , ежегодно удерживаемого в мировом океане из общего антропогенного объема, оставшийся  $\text{CO}_2$  переводится в объем биопродуктивного леса, который потребуется для его сбережения в тот год [9]. На том основании, что заготовка древесины приводит к высвобождению запасенного углерода, использование лесных земель для связывания углерода и применение их для заготовки древесины или топливной древесины считаются взаимоисключающими видами деятельности.

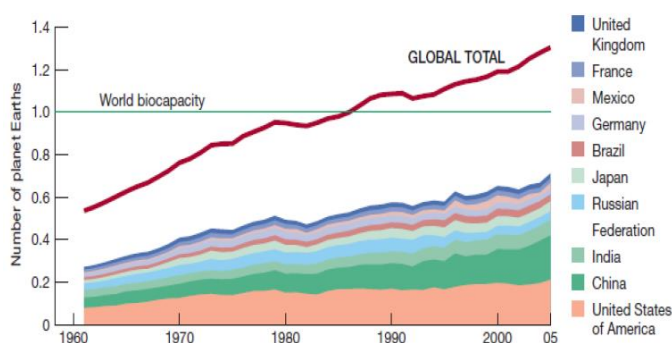


Рисунок 2. Углеродный след по странам [12]

Наблюдая за углеродным следом на глобальном уровне, мы можем заметить, что страны с самым высоким углеродным следом-это те же страны, которые имеют самый большой экологический след, такие как Соединенные Штаты Америки, Китай, Индия, а самый низкий углеродный след имеют африканские страны как отмечено на рисунке № 2 [7]. Углеродный след рассчитывается путем оценки того, сколько естественной секвестрации необходимо в отсутствие секвестрации человеческими средствами. В 2009 году 1 глобальный гектар мог поглотить CO<sub>2</sub>, выделяющийся при сжигании примерно 1750 литров бензина [10]. Расчет выбросов углерода таким образом не означает, что связывание углерода биомассой является ключом к решению проблемы глобального изменения климата. Напротив, это показывает что биосфера обладает недостаточной способностью справляться с текущими уровнями выбросов CO<sub>2</sub>. По мере созревания лесов их скорость поглощения CO<sub>2</sub> приближается к нулю. Если эти леса деградируют или очищаются, они становятся чистыми источниками выбросов CO<sub>2</sub>. Выбросы углерода из источников, отличных от сжигания ископаемого топлива, в настоящее время включены в Национальные счета выбросов. К ним относятся летучие выбросы в результате сжигания газа при добыче нефти и природного газа, выбросы углерода в результате химических реакций при производстве цемента и выбросы в результате пожаров в тропических лесах.

В таблице № 1 приведены выбросы CO<sub>2</sub> для наиболее часто используемых видов топлива

*Таблица 1. Выбросы CO<sub>2</sub> на единицу топлива [7]*

| Тип топлива          | Ед.    | Выбросы CO <sub>2</sub> на единицу |
|----------------------|--------|------------------------------------|
| Бензин               | 1 литр | 2.3 кг                             |
| Gasoline             | 1 литр | 2,3 кг                             |
| Дизель               | 1 литр | 2,7 кг                             |
| Масло<br>(отопление) | 1 литр | 3 кг                               |

Параметры из таблицы №1 показывают, что из повседневной жизни можно представить реалистичный пример того, что если автомобиль потребляет 8 литров дизельного топлива на 100 км, то поездка на расстояние 500 км потребляет  $5 \times 8 = 40$  литров дизельного топлива, что добавляет  $40 \times 2,7 \text{ кг} = 108 \text{ кг CO}_2$  к нашему личному углеродному следу.

## **2. Сравнение альтернативных режимов движения**

Пару лет назад основное внимание привлекли два вида альтернативных видов топлива: водород и биотопливо. Это два совершенно разных вида топлива.

Водород можно использовать двумя способами – в обычных двигателях внутреннего сгорания или в топливных элементах. Большинство автомобильных компаний исследовали, в частности, топливные элементы. Однако, независимо от того, в каком режиме водород будет использоваться в двигателе, его введение в широкое использование будет представлять собой революционное изменение и связано со многими логистическими проблемами. Сеть водородных заправочных станций еще не существует и должна быть создана. Поскольку водород в стандартных условиях имеет очень низкую энергетическую ценность на единицу объема, его следует использовать при очень высоком давлении (350-700 бар) или при чрезвычайно низкой температуре ( $-253 \text{ C}^\circ$ ), что связано со значительными техническими трудностями, а также с определенными проблемами безопасности. Другая проблема заключается в том, что водорода на Земле практически не существует в элементарной форме и его необходимо производить. Электролиз воды ожидается как наиболее подходящий способ получения водорода. Между тем, если электроэнергия, используемая в этом процессе, будет достигаться от тепловых электростанций, чистого сокращения выбросов парниковых газов не произойдет.

Однако внедрение биотоплива ни в коем случае не требует столь радикальных изменений и может осуществляться постепенно. Биотопливо можно использовать в чистом виде или смешивать с ископаемым топливом практически в любом соотношении. Необходимы лишь незначительные технические изменения двигателя, и когда доля биотоплива составляет менее 5

процентов, любые модификации двигателя вообще не требуются. Также при рассмотрении логистических аспектов, таких как доставка топлива и сеть АЗС, ситуация значительно менее сложная. Тот факт, что биотопливо поддается биологическому разложению, может вызвать определенные проблемы из-за их ограниченной стабильности. С другой стороны, в случае некоторых аварий, таких как разлив топлива, это дает даже преимущество и снижает экологический риск. Несколько лет назад было много сведений об исследованиях в области водородного автомобильного питания, а также о тех, которые связаны с систематическим внедрением биотоплива, но относительно мало было информации об аккумуляторных электромобилях. В самый последний период ситуация резко изменилась, поскольку аккумуляторные электромобили стали основной альтернативой обычным транспортным средствам. Следует отметить, что электромобили, а также использование биотоплива в двигателях внутреннего сгорания (и в отличие от водородных транспортных средств) не представляют никакой реальной новизны, поскольку и то, и другое известно практически с начала автомобильной эры. Однако из-за относительно низкой цены на нефть двигатели внутреннего сгорания, работающие на производных нефти, почти полностью преобладали с 1920-х годов до наших дней.

### 3. Выбросы производных нефти

Проблема производных нефти заключается в том, что их сжигание приводит к значительному загрязнению атмосферы. Классические загрязнители, такие как окись углерода (СО), углеводороды (НС), окислители азота (NO<sub>x</sub>) и твердые частицы (ТЧ), ухудшают качество воздуха и оказывают вредное влияние на здоровье человека. Этот факт известен на протяжении десятилетий. В течение многих лет систематических исследований были разработаны устройства контроля выбросов, которые позволяют значительно сократить выбросы. Таким образом, типичный современный трехходовой каталитический нейтрализатор снижает выбросы выхлопных газов на 95-99 процентов. В дизельных двигателях с воспламенением от сжатия частицы (ТЧ) представляют особую проблему, но их выбросы могут быть снижены с помощью соответствующих сажевых фильтров. Впечатляющий прогресс в повышении эффективности устройств контроля выбросов можно наблюдать на примере серии стандартов ЕВРО, которые постоянно снижают разрешенные уровни выбросов конкретных загрязняющих веществ. Однако, несмотря на все эти факты, плохое качество воздуха по-прежнему является большой проблемой в районе с интенсивным движением. Улучшенные возможности систем контроля за выбросами часто теряются из-за возросшей плотности движения.

Углекислый газ как основной фактор антропогенного парникового эффекта представляет собой другую проблему. Поскольку углекислый газ не вреден для человеческого организма, их выбросы в течение многих лет не привлекали никакого внимания. Тем не менее, когда наблюдались последствия парникового эффекта и нежелательных климатических изменений, ситуация изменилась. Однако углекислый газ является конечным продуктом сгорания любого топлива, содержащего углерод. Поэтому его выбросы не могут быть снижены с помощью какого-либо каталитического нейтрализатора или системы фильтрации, что оказалось очень эффективным в случае классических загрязнителей. Единственный способ сократить выбросы углекислого газа - это снизить расход топлива или использовать альтернативные виды топлива. При



поиске новых видов топлива с экологической точки зрения важно, чтобы топливо производило как можно более низкую степень выбросов. Это относится как к классическим загрязнителям, так и к парниковым газам. Однако часто бывает не так просто сравнить различные виды топлива. Чтобы получить реальную картину выбросов, необходимо учитывать весь жизненный цикл топлива (производство топлива, логистическая деятельность), а не только выбросы из выхлопных труб.

#### 4. Выбросы биотоплива

Классические загрязнители (окись углерода, углеводороды и твердые частицы) присутствуют в выхлопных газах из-за неполного процесса сгорания топлива, в то время как оксиды азота образуются в двигателе при высоких температурах кислородом и азотом из воздуха. Всех этих процессов нельзя избежать и в случае биотоплива. Однако биотопливо демонстрирует более низкие выбросы классических загрязняющих веществ (за исключением оксида азота), как видно из рисунка 1, который представляет собой сравнение выбросов для биодизельного топлива и ископаемого дизельного топлива.

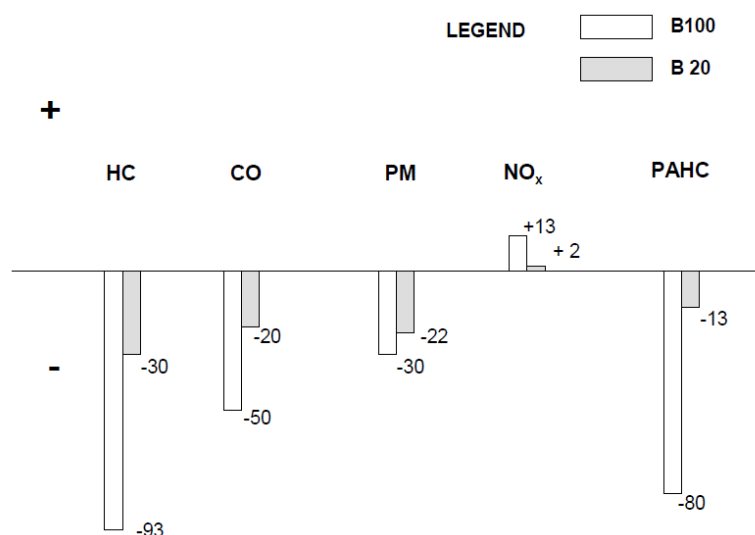


Рисунок 3. Изменение выбросов различных загрязняющих веществ при обычном дизельном топливе заменяется чистым биодизелем (B100) или смесь, содержащая 80% нефтесудзеля и 20% биодизеля (B20)

Загрязнители обозначаются аббревиатурами: HC - общие углеводороды, CO – монооксид углерода, PM – твердые частицы, NO<sub>x</sub> – оксиды азота и ПАУС – полиароматические углеводороды.

При рассмотрении выбросов углекислого газа биотопливо рассматривается как углеродно – нейтральное топливо-это означает, что оно не производит никаких чистых выбросов углекислого газа. Углекислый газ, который выбрасывается в атмосферу при сжигании топлива (а в случае биоэтанола также в процессе ферментации), выделяется из атмосферы в процессе фотосинтеза во время роста растений, используемых для производства биотоплива. Итак, в случае биотоплива существует своего рода рециркуляция углекислого газа в отличие от использования ископаемых видов топлива, которые производят чистое поступление углекислого газа в атмосферу, как показано на рисунке № 4.

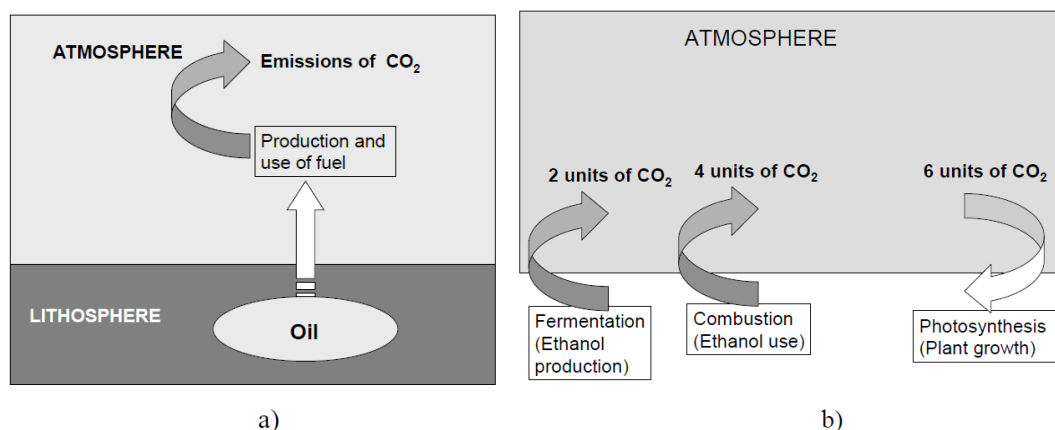


Рисунок 4. Упрощенный баланс углекислого газа а) для производных нефти (ископаемое топливо) и б) для биоэтанола

Процесс, показанный на рис.4. б, конечно, представляет собой лишь очень упрощенную теоретическую картину. К сожалению, также в случае биотоплива появляются определенные чистые выбросы диоксида углерода, а также других парниковых газов (метан /CH<sub>4</sub>/ и закись азота /N<sub>2</sub>O/). Однако степень этих выбросов сильно зависит от источника, из которого производится биотопливо, а также от способа производства. Различные виды деятельности, необходимые для производства биотоплива, требуют определенного потребления энергии. Когда эта энергия получается из ископаемого топлива, образуются определенные выбросы

углекислого газа. Как уже упоминалось, с экологической точки зрения одной из важнейших целей использования биотоплива является сокращение выбросов парниковых газов. Часто бывает нелегко оценить реальное снижение выбросов парниковых газов, когда ископаемое топливо (бензин или дизельное топливо) заменяется определенным видом биотоплива. Для этого необходимо тщательно изучить весь жизненный цикл топлива. Точный баланс выбросов парниковых газов должен быть составлен для каждого этапа жизненного цикла.

Европейский союз решительно поддержал использование биотоплива, установив четкую цель на 2020 год, согласно которой 10 процентов от общего количества топлива, используемого в транспорте, должно производиться из возобновляемых источников. Помимо экологических аспектов, это также должно иметь некоторые другие положительные последствия, такие как снижение зависимости от импортируемой нефти и обеспечение процветания естественных сельскохозяйственных угодий. Однако становится все более очевидным, что биотопливо не всегда полезно для окружающей среды. Интенсивное сельское хозяйство с использованием большого количества удобрений и защитных средств требует значительных энергетических затрат и приводит к высокой степени загрязнения. Фактическое сокращение выбросов парниковых газов часто является незначительным, а иногда даже сомнительным. По некоторым данным, разные виды биотоплива производят более высокую степень выбросов парниковых газов, чем ископаемое топливо. Помимо этого, появляются и другие негативные экологические, а также социальные и экономические последствия, такие как загрязнение почвы и грунтовых вод, снижение биоразнообразия, рост цен на продовольствие и обострение проблем голода в странах третьего мира.

Поэтому ЕС произвел определенный пересмотр политики в области биотоплива. Целевое значение на 2020 год по-прежнему ценно, но настоятельно подчеркивается необходимость устойчивого производства биотоплива. Биотопливо должно сократить фактическое сокращение выбросов парниковых газов по сравнению с ископаемым топливом по крайней мере на 35 процентов. В период после 2017 года этот показатель увеличится на 60 процентов.

## 5. Биотопливо первого, второго и третьего поколения

Биотопливо коммерчески производится из сельскохозяйственных продуктов, традиционно предназначенных для питания человека и/или корма для животных – это так называемые биотоплива первого поколения. Таким образом, повышенный спрос на эти продукты приведет к росту цен на продовольствие или даже спровоцирует нарушения в цепочке поставок продовольствия. Кроме того, интенсивное сельское хозяйство требует значительных затрат энергии и интенсивного использования удобрений и средств защиты – типичным примером являются кукуруза, соя, а также рапс. Производство биотоплива из этих источников часто характеризуется низкой чистой выработкой энергии (как видно из таблицы 2) и скудным или даже сомнительным сокращением выбросов парниковых газов. С другой стороны, биоэтанол из сахарного тростника отличается отличной производительностью энергии, что позволяет значительно сократить выбросы парниковых газов. Это оказалось очень успешным в течение десятилетий в Бразилии, поскольку эта страна таким образом избежала энергетической зависимости от импортируемой нефти. К сожалению, сахарный тростник требует тропических или, по крайней мере, субтропических климатических условий и поэтому не является адекватной культурой для европейских стран.

Таблица 2. Сравнение биотоплива, произведенного из различных источников (\* - еще не доступен в коммерческом масштабе)

| <i>Генератор биотоплива</i> | <i>Источник для производства биотоплива</i> | <i>Тип биотоплива</i> | <i>Страна</i> | <i>Выход энергии и коэффициент ввода</i> |
|-----------------------------|---|-----------------------|---------------|--|
| 1.                          | Сахарный тростник                           | Биоэтанол             | Бразилия      | 8  |
| 1.                          | Кукуруза                                    | Биоэтанол             | США           | 1,3                                      |
| 1.                          | Масло рапсовое                              | Биодизель             | Европа        | 2,5                                      |
| 2.                          | Лигноцеллюлоз                               | Биоэтанол             | *             | 2-36                                     |
| 2.                          | Водоросли                                   | Биодизель             | *             | -  |

Биотопливо второго и третьего поколения дает возможность избежать конкуренции между производством продовольствия и энергии. Производство биотоплива второго и третьего поколения не использует съедобные части растений и не конкурирует с производством продуктов питания для пахотных земель и, таким образом, представляет собой перспективное решение на будущее. К сожалению, эти процессы в настоящее время разрабатываются в лабораторных масштабах и еще не готовы к коммерческому уровню.

Биоэтанол, полученный из лигноцеллюлозы, относится к биотопливу второго поколения. Поскольку целлюлоза является наиболее распространенным органическим соединением в природе, этот процесс позволяет производить биоэтанол из различных видов растительного сырья. В качестве источников для производства топлива могут служить растительные отходы (как, например, стебли и листья кукурузы), отходы деревообрабатывающей промышленности (щепа, опилки) или некоторые многолетние травы (подорожник, мишантус и т.д.), растущие на почве низкого качества, не пригодной для многих других сельскохозяйственных целей.

Биодизельное топливо, получаемое из водорослей, часто обозначается как биотопливо третьего поколения. Водоросли растут очень быстро и не требуют плодородной почвы, а только солнечного света и углекислого газа. Можно использовать углекислый газ с электростанций или тепловых станций. Водоросли дают самую высокую урожайность на единицу площади, как видно из рисунка № 5.

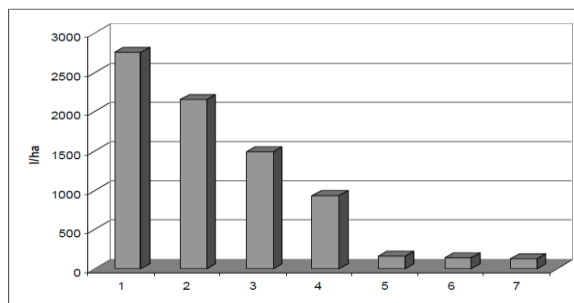


Рисунок 5. Урожайность биодизеля на единицу площади (л/га) для различных видов: 1 - водоросли, 2 - кокосовый орех, 3 - масличная пальма, 4 - рапс, 5 - соя, 6 - арахис, 7 – подсолнечник, исходя из литературных данных

## 6. Анализ жизненного цикла

Как уже упоминалось, крайне важно провести точный анализ жизненного цикла конкретного вида биотоплива. Необходимо рассчитать энергетический баланс, а также баланс выбросов парниковых газов. Все действия, которые появляются в процессе, должны быть приняты во внимание, чтобы получить правильную картину. Например, для возделывания масличного рапса оптимальным является нейтральный рН почвы (7,0). В случае кислой почвы известь часто добавляют для повышения рН почвы. Однако, как известно Тамсирирою и Мерфи, если вклад извести не учитывается в балансе, оценка не является правильной, поскольку производство и транспортировка извести оказывает некоторое влияние на энергетический баланс и значительное влияние на баланс выбросов парниковых газов. Директива ЕС четко определяет процедуру расчета общих (чистых) выбросов, полученных в результате использования топлива [9]. Выбросы рассчитываются, когда экономия выбросов вычитается из выбросов, произведенных  $E = E_{prod} - E_{sav}$  (1).

В таблице 2 показаны различные вклады в выбросы, связанные с производством и использованием топлива (период), а также с экономией энергии ( $E_{sav}$ ) за счет использования биотоплива.

Таблица 3. Вклад в общий объем выбросов парниковых газов для биотоплива

| Произведенные выбросы ( $E_{prod}$ ) |  | Экономия выбросов ( $E_{sav}$ ) |   |
|--------------------------------------|--|---------------------------------|---|
| $e_{cc}$                             | Выбросы от выращивания сырья                   | $e_{sca}$                       | Экономия выбросов за счет улучшенного управления сельским хозяйством          |
| $e_1$                                | Выбросы, вызванные изменением землепользования | $e_{ccs}$                       | Экономия выбросов в результате улавливания углерода и геологического хранения |
| $e_p$                                | Выбросы в результате переработки               | $e_{ccr}$                       | Экономия выбросов в результате улавливания и замены углерода                  |
| $e_{td}$                             | Выбросы от транспорта и распределения          | $e_{ee}$                        | Экономия выбросов от избытка электроэнергии от когенерации                    |
| $e_u$                                | Выбросы из использования топлива               |                                 |   |

Из таблицы 2 ясно видно, что многие виды деятельности вызывают выбросы парниковых газов или могут способствовать экономии выбросов. Поэтому невозможно определить реальную величину выбросов без точного анализа жизненного цикла топлива. Выбросы должны быть выражены в массе CO<sub>2</sub> на единицу энергии топлива (г CO<sub>2</sub> / МДж).

Экономия выбросов парниковых газов при замене ископаемого топлива (бензина, дизельного топлива) биотопливом может быть просто рассчитана с помощью эквалайзера (2) [9].

$$Saving = \frac{E_F - E_B}{E_F}$$

В уравнении (2) E<sub>B</sub> обозначает общие выбросы парниковых газов, производимые биотопливом (которые рассчитываются с помощью уравнения (1)), а E<sub>F</sub> обозначает общие выбросы ископаемого топлива.

Когда речь идет о конкретном виде биотоплива, обычно существуют различные производственные процедуры, включая множество вариантов, касающихся манипуляций с отходами и технологических деталей. Для каждой процедуры следует проводить как энергетические, так и выбросы парниковых газов, и можно провести сравнение для выбора оптимальной процедуры [11].

## 7. Заключение (Conclusion)

Довольно сложно прогнозировать, какой из альтернативных режимов вождения автомобиля будет преобладать в будущем. Поскольку замена производных нефти биотопливом может быть осуществлена относительно просто, можно ожидать, что биотопливо будет играть важную роль. Тем не менее следует принимать во внимание, что биотопливо ни в коем случае не должно внедряться ни по какой цене. Только эти виды биотоплива, которые производятся на устойчивой основе, представляют собой адекватную замену ископаемым видам топлива и могут значительно способствовать сокращению выбросов парниковых газов и, следовательно, углеродного следа, а также других негативных воздействий на окружающую среду. Для этой цели крайне важно, чтобы для каждого вида биотоплива перед внедрением был проведен точный анализ жизненного цикла топлива с адекватными балансами и критически оценен. Когда этого удастся избежать, эффект может быть прямо противоположен первоначальной цели – принести больше вреда окружающей среде, чем пользы.

## Библиография (Bibliography)

1. Batanović V, Guberinić S & Petrović R (2011). System theoretic approach to sustainable development problems. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 21(1): 1-10.
2. Petrovic N, Isljamovic S, Jeremic V (2010). Zero waste as a new concept for sustainable development. *Management - časopis za teoriju i praksu menadžmenta*, 15(57): 39-45.
3. Petrovic N, Drakulic M, Vujin V, Drakulic R, Jeremic V (2011). Climate changes and green information technologies. *Management - časopis za teoriju i praksu menadžmenta*, 16(59): 35-43.
4. URL: <http://www.carbonfootprint.com/>
5. Brent, G.F., “Greenhouse gas implications of explosives and blasting”, *Proc. Rock Fragmentation by Blasting, Fragblast*, 9 (2009) 673 – 681.
6. Klemes, J., Pierucci, S., “Carbon footprint and emission minimization,



integration and management of energy sources, industrial application and case studies”, *Energy*, 33 (2008) 1477–1479.

7. WWF International, „*Living Planet Report*“, 2008.

8. Ewing, B., Reed, A., Rizk, S., Goldfinger, S., Stechbart, M., Wackernagel, M., “The Ecological Footprint Atlas 2008“, Global Footprint Network, 2008.

9. Kitzes, J., Peller, A., Goldfinger, S., Wackernagel, M., ”Current Methods for Calculating National Ecological Footprint Account“, *Science for Environment*, Vol.1, No. 1, 2007.

10. URL: <http://www.carbontrust.co>.

11. Thamsiroj, T. and Murphy, J.D. (2010). Can rape seed biodiesel meet the European Union sustainability criteria for biofuels?, *Energy Fuels*, Vol. 24, (2010) 1720-1730.