



ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ ИЗ БИОМАССЫ

Аналитическая записка БАУ № 8

Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Дроздова О.И.

25 апреля 2014 г.

Обсуждение в БАУ: с 17.04.2014 по 25.04.2014
Утверждение Правлением БАУ и публикация на www.uabio.org: 25.04.2014
Публикация доступна на: www.uabio.org/activity/uabio-analytics
Для отзывов и комментариев: geletukha@uabio.org

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают искреннюю благодарность *Кучеруку Петру Петровичу* за предоставление материалов и консультаций по разделам, касающимся биогазовых технологий. Это существенно улучшило качество финального варианта Аналитической записки.

Содержание

Обоснование актуальности энергетического и экологического анализа биоэнергетических технологий	4
Энергетический анализ	5
<i>Производство тепловой энергии из биомассы</i>	9
<i>Производство электроэнергии из биомассы</i>	9
<i>Производство биогаза</i>	11
<i>Производство биоэтанола и биодизеля</i>	13
Экологический анализ	16
Влияние расстояния транспортировки на энергетические и экологические показатели биоэнергетических технологий	20
Выводы	22
ЛИТЕРАТУРА	23
Условные обозначения	25
<i>Предыдущие Аналитические записки БАУ</i>	26

Введение

В очередной записке № 8 Биоэнергетической ассоциации Украины рассмотрен вопрос энергетической эффективности технологий производства энергии из биомассы для различных технологий и различных видов биомассы. Оценен уровень сокращения выбросов диоксида углерода при замещении традиционных топлив биомассой.

Обоснование актуальности энергетического и экологического анализа биоэнергетических технологий

Членство Украины в Энергетическом сообществе (с 2011 г.) требует от нее обязательного выполнения ряда европейских директив. По мере постепенного подписания разделов Соглашения об ассоциации с ЕС объем обязательств Украины, в том числе в энергетическом секторе, будет продолжать увеличиваться.

Одним из главных документов ЕС в секторе возобновляемых источников энергии является Директива 2009/28/ЕС [1], которую Украина согласно своим обязательствам в рамках Энергетического сообщества должна была имплементировать до 1 января 2014 г. [2]. Важным положением этой Директивы является требование по уровню снижения выбросов парниковых газов при внедрении биоэнергетических технологий – не менее 35% по сравнению с аналогичным использованием ископаемых топлив. При этом с 1 января 2017 это минимальное требование увеличивается до 50%, а с 1 января 2018 г. – до 60% для установок, введенных в эксплуатацию с 01.01.2017.

Другим важным аспектом возможности и целесообразности внедрения технологий производства энергии из биомассы является их энергетическая эффективность, определяемая путем сопоставления объема полученной энергии с энергией, затраченной на создание и обеспечение работы определенной биоэнергетической установки. На сегодня в ЕС и вообще в мире нет каких-либо обязательных для выполнения требований по энергетической эффективности биоэнергетических технологий, но определенные рекомендации были разработаны в рамках выполнения Задания 32 Международного энергетического агентства [3]. Считаем эти рекомендации целесообразными для практического применения как в Европе, так и в Украине.

Важность показателя энергетической эффективности заключается в том, что он дает объективную оценку определенной биоэнергетической технологии. Эта оценка не зависит от текущей политики государства в отношении данной технологии, которая может быть направлена на стимулирование или сдерживание развития через, например, «зеленые» тарифы, субсидии, налоговые льготы и другие механизмы.

В работе [3] для оценки энергоэффективности технологий возобновляемой энергетики и сравнения их между собой предложен *коэффициент выхода энергии – EUC_{NR}* . Этот коэффициент представляет собой отношение величины совокупного производства энергии определенной установкой (т.е. энергии «на выходе») к полным затратам первичной *невозобновляемой* энергии, необходимой для создания энергоустановки, обеспечения ее работы в течение всего времени существования и

утилизации установки после завершения срока ее эксплуатации (*невозобновляемая энергия «на входе»*).

Особенностью показателя EUC_{NR} является то, что «на входе» учитываются расходы только *невозобновляемой* энергии, а возобновляемый источник, например, биомасса как энергоноситель в общую сумму не входит. Очевидно, что при таком подходе EUC_{NR} для энергоустановок на ВИЭ должен быть > 1 , а для установок на ископаемых топливах всегда будет < 1 . Согласно рекомендациям работы [3], для обеспечения высокой энергетической эффективности коэффициент выхода энергии EUC_{NR} для энергоустановок на ВИЭ должен составлять как минимум > 2 , а наиболее рекомендуемое значение – **более 5**.

Следует отметить, что кроме коэффициента выхода энергии EUC_{NR} в литературе можно найти и другие показатели энергоэффективности технологий. По сути, все они также оперируют понятиями энергия «на выходе» и энергия «на входе» и отличаются от EUC_{NR} только способами сопоставления этих величин. Авторы аналитической записки считают показатель EUC_{NR} наиболее удобным и используют его в данной записке.

Определение энергетической эффективности процессов и расчет выбросов парниковых газов является составной частью т.н. *оценки жизненного цикла* технологий [4]. ОЖЦ – это комплексный анализ воздействия на окружающую среду от внедрения и использования определенной технологии. Надо отметить, что полная оценка жизненного цикла включает определение достаточно широкого спектра параметров, но наиболее значимыми являются энергетический баланс и баланс парниковых газов. Именно эти показатели анализируются в данной Аналитической записке.

Такой подход хорошо согласуется с результатами исследования [5], в котором было детально проанализировано почти 100 работ по ОЖЦ биоэнергетических технологий, выполненных в течение последних 15 лет для условий различных частей мира, в том числе для Европы. В работах изучались технологии производства тепловой и электрической энергии и биотоплива из различных видов биомассы. Большинство работ посвящено технологиям получения биоэтанола и биодизеля (**Рис. 1**). В исследовании [5] показано, что половина всех рассмотренных работ включает только оценку энергетического баланса и/или баланса парниковых газов, а другая половина содержит полный анализ жизненного цикла биоэнергетических технологий (**Рис. 2**).

Энергетический анализ

В этом разделе собраны результаты доступных исследований, в том числе выполненные авторами Аналитической записки для условий Украины [6, 7], в которых был проведен энергетический анализ технологий производства энергии или биотоплива из биомассы с использованием коэффициент выхода энергии – EUC_{NR} (**Таблица 1**). Для информации в таблице также приведены величины EUC_{NR} для некоторых установок с использованием ископаемых топлив. Следует отметить, что сравнение результатов различных авторов можно провести только на принципиальном уровне, поскольку для зарубежных данных часто отсутствуют детали выполненных расчетов (мощность и КПД установок, расстояние перевозки биомассы и др.).

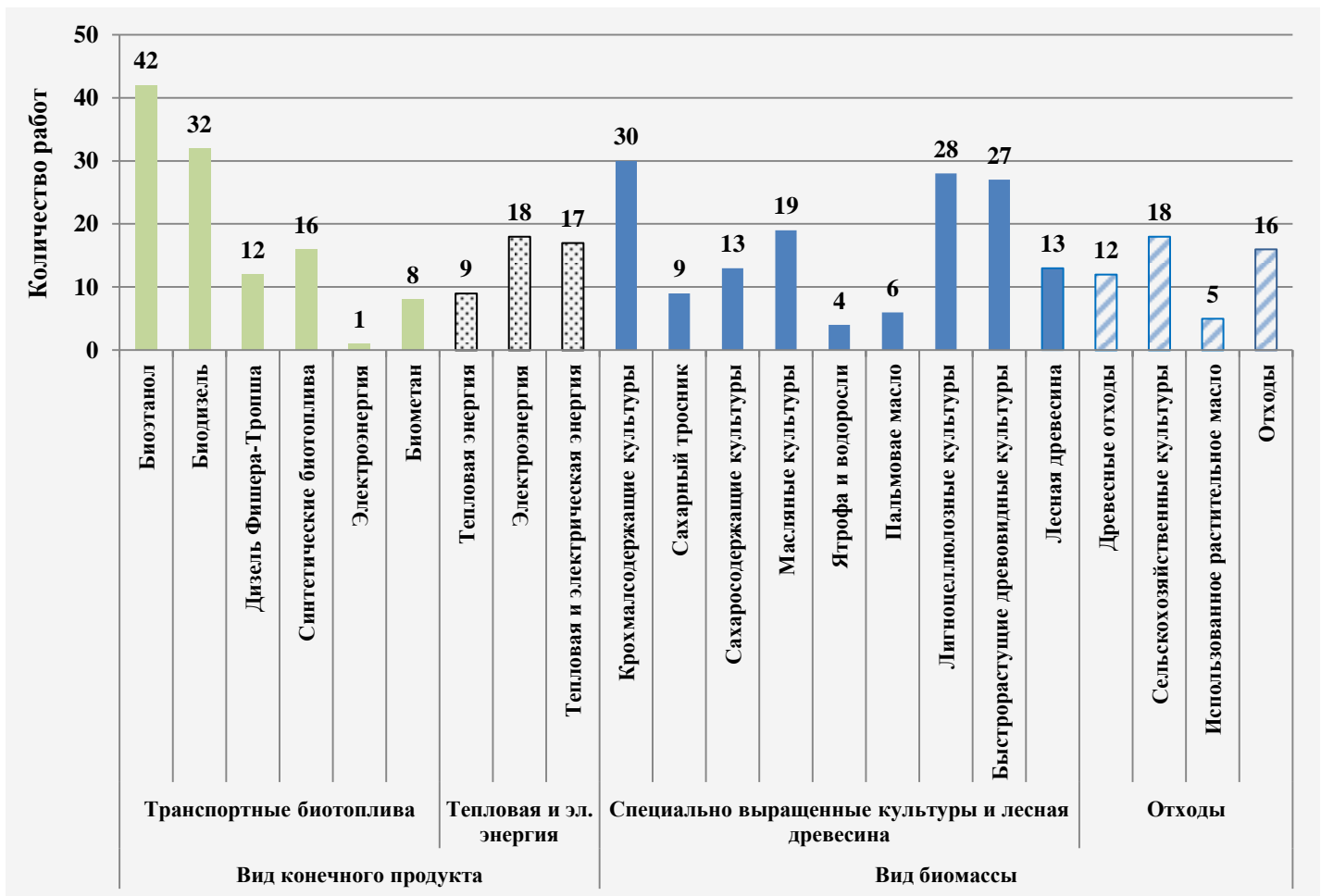


Рис. 1. Распределение работ по ОЖЦ по видам биомассы и конечного продукта [5]

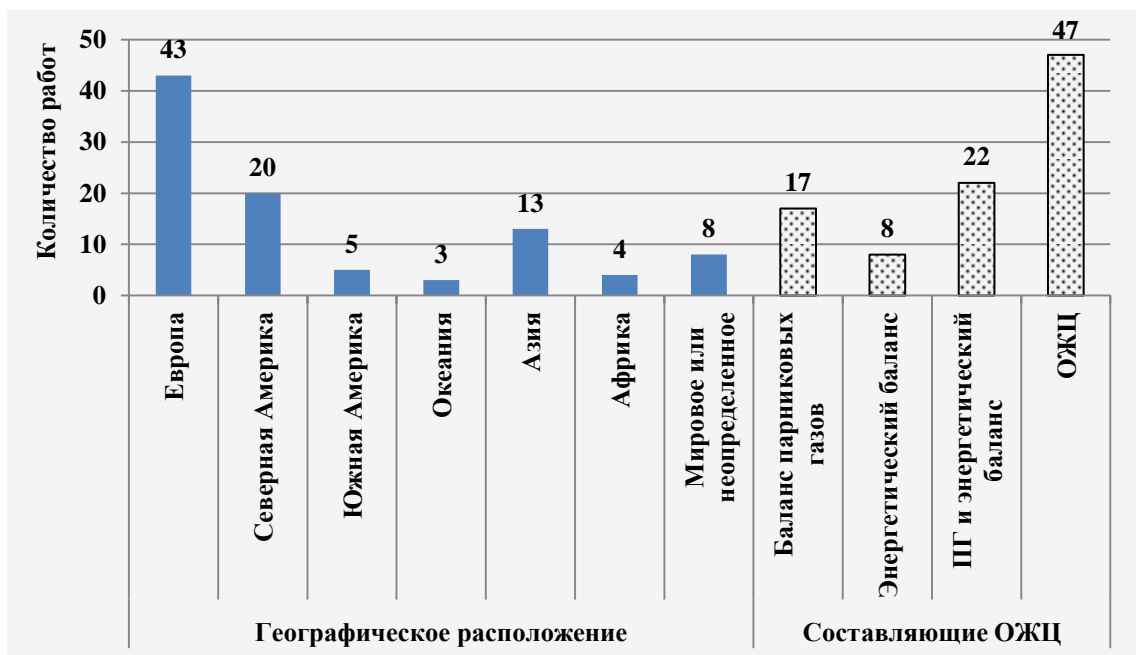


Рис. 2. Распределение работ по ОЖЦ по географическому расположению и содержанию [5]

Таблица 1. Коэффициент выхода энергии для различных энергоустановок¹⁾

Вид энергоустановки	EY_{NR}
<i>Установки на древесной биомассе</i>	
Котел на дровах [3]	4,2-12,1
Котел на древесных отходах (150 кВт) [16]	8,3
Котел на древесной щепе [3]	4,8-12,1
<i>Котел на древесной щепе (500 кВт) (Украина)²⁾</i>	6,8
<i>Котел на щепе из энергетической вербы (300 кВт) (Украина)²⁾</i>	6,1
<i>Котел на древесных гранулах (100 кВт) (Украина)²⁾</i>	2,4
Небольшая система ЦТ на древесине [3]	4,0
Крупная система ЦТ на древесине [3]	4,2
Крупная система ЦТ на древесине с пиковым котлом на мазуте [3]	2,2
Котел на древесных гранулах с дополнительным солнечным коллектором [3]	3,3
Система ЦТ на биомассе с дополнительным солнечным коллектором [3]	4,0
<i>ТЭЦ на древесной щепе (2 МВт_э+10 МВт_т) (Украина)²⁾</i>	7,1
<i>ТЭС на древесной щепе (2 МВт_э) (Украина)²⁾</i>	1,7
ТЭС на отходах древесины (30 МВт _э) [16]	4
ТЭС (500 МВт _э): совместное сжигание древесных отходов (5% мас.) и угля [16]	2,2
<i>Установки на соломе (Украина)²⁾</i>	
<i>Котел на тюках соломы (500 кВт)</i>	8,0
<i>Котел на гранулах из соломы (100 кВт)</i>	3,6
Крупная система ЦТ на соломе с пиковым котлом на мазуте (Европа) [3]	1,8
<i>ТЭЦ на тюках соломы (2 МВт_э + 10 МВт_т)</i>	5,4
<i>ТЭС на тюках соломы (2 МВт_э)</i>	1,3
ТЭС на тюках соломы (25 МВт _э) (Испания) [19]	2,1 ⁴⁾
<i>Биогазовые установки</i>	
Биогаз из куриного помета [15]	1,8-1,9
Биогаз из навоза [20]	2,6-3,0 ³⁾
Биогаз из энергетических культур [20]	2,4 ³⁾
Биогаз из силоса кукурузы [14]	1,8-2,2
Биогаз из жировых осадков [20]	6,2 ³⁾
<i>Установки по производству моторных биотоплив</i>	
Биодизель ⁶⁾ (РМЭ) и побочные продукты [3]	2,4
Биодизель (РМЭ) и побочные продукты [18]	2,6
Биодизель (РМЭ) [3]	1,5-4,0
Биодизель (РМЭ) [18]	1,9
<i>Биодизель (РМЭ) (Украина) [9]</i>	1,36-1,7 ³⁾
Биодизель из сои (США) [18]	3,21
Биоэтанол из сахарной свеклы [3]	2,1
Биоэтанол из сахарной свеклы [8]	1,0-1,59 ³⁾⁵⁾
Биоэтанол из пшеницы [8]	2,23 ³⁾⁵⁾
Биоэтанол из пшеницы [17]	1,93 ³⁾⁵⁾
Биоэтанол (ЭТБЭ) из пшеницы, сахарной свеклы [17]	0,9-1,05 ³⁾⁵⁾
<i>Биоэтанол из пшеницы, ячменя, кукурузы, сахарной свеклы (Украина) [9]</i>	0,8-1,1 ³⁾

Биоэтанол из кукурузы (США) [10-12]	0,59-1,25³⁾
<i>Другие установки на ВИЭ [3]</i>	
Солнечная система отопления	4,0
<i>Установки с использованием ископаемых топлив [3]</i>	
Конденсационный котел на легком дистиллятном топливе	0,7-0,76
Котел на легком дистиллятном топливе	0,67-0,72
Система отопления на легком дистиллятном топливе	0,66
Конденсационный газовый котел	0,74-0,81
Газовый котел	0,7-0,74
Газовый котел с дополнительным солнечным коллектором	0,85
Крупная система ЦТ на природном газе и геотермальной энергии	1,18
Котел на мазуте с дополнительным солнечным коллектором	0,75
Тепловой насос с горизонтальным коллектором в почве	1,04
Тепловой насос с вертикальным коллектором в почве	0,99

1) Для условий Европы, если не указано иное.

2) Результаты авторов Аналитической записки (расстояние транспортировки биомассы 50 км).

3) Пересчет авторов Аналитической записки по данным соответствующей работы.

4) Для случая урожайности зерновых культур порядка 7 сух. т/га. При более низкой урожайности $EUC_{NR} < 2$.

5) Метод распределения энергозатрат – по массе конечных продуктов.

6) Здесь и далее в таблице – биодизель из рапса, если не указано иное.

Из приведенных данных видно, что все энергетические установки на твердой биомассе (древесине, соломе), предназначенные для производства тепловой энергии и комбинированного производства тепловой и электрической энергии, имеют коэффициент выхода энергии $EUC_{NR} > 2$ (т.е. больше минимально необходимого значения), а некоторые из них и > 5 , что соответствует наиболее рекомендуемому диапазону. Конкретное значение EUC_{NR} зависит от сочетания многих факторов (вид биомассы/биотоплива, мощность и КПД энергоустановки, расстояние и способ транспортировки биомассы и др.). ТЭС на биомассе имеют более низкие показатели – $EUC_{NR} < 5$ или даже < 2 в зависимости от вида биомассы и других условий. Это означает, что производство только электроэнергии из биомассы является менее энергоэффективным, чем производство тепловой энергии или комбинированное производство тепловой и электрической энергии.

Ситуация с производством биодизеля и биоэтанола неоднозначна. По одним данным коэффициент выхода энергии для них больше 2, по другим – существенно ниже. По-видимому, результат существенно зависит от исходного сырья, применяемой технологии и других условий. Этот вопрос будет подробнее рассмотрен ниже.

Энергетическая эффективность работы биогазовых установок существенно зависит от вида сырья и других условий. Этот вопрос требует дополнительных исследований и может быть предметом одной из следующих аналитических записок БАУ.

Все энергоустановки с использованием ископаемых топлив имеют коэффициент выхода энергии < 1 (как и должно быть), кроме случая комбинированного использования ВИЭ.

Производство тепловой энергии из биомассы

Как было показано выше, все котельные установки, предназначенные для производства тепловой энергии из биомассы, имеют высокую энергетическую эффективность. Поэтому представляет интерес сравнение прямого сжигания биомассы с другими технологиями термохимической конверсии. Такое исследование выполнено в работе [13], где проведено сопоставление энергетической эффективности работы котла на твердой биомассе (щепе) и газификации биомассы с последующим сжиганием полученного генераторного газа в котле.

Рассмотрено три вида биомассы – отходы лесозаготовки, мискантус, тополь с быстрорастущей плантации и три вида технологии газификации – газификация в потоке с кислородным дутьем, газификация в циркулирующем кипящем слое с кислородным дутьем и газификация с паровым дутьем в двух реакторах циркулирующего кипящего слоя. Дополнительно биоэнергетические технологии сравниваются с работой газового котла. Для всех исследованных технологий рассчитан коэффициент выхода энергии EUC_{NR} .

Результаты исследования показали, что прямое сжигание, газификация в потоке и газификация в ЦКС имеют высокие, близкие по значению показатели энергетической эффективности – $EUC_{NR}=5,5-8$ (Рис. 3). Для газификации в двух реакторах ЦКС коэффициент выхода энергии даже выше – **9-11**. Если сравнивать между собой различные виды биомассы, то видно, что для всех технологий, самый высокий EUC_{NR} соответствует мискантусу как топливу, а на втором месте находятся лесосечные отходы. Для газового котла (базовой системы для сравнения) $EUC_{NR} = 0,73$, что полностью совпадает с оценками, приведенными ранее в **Таблице 1**.

Производство электроэнергии из биомассы

Вопросы энергетической эффективности и влияния на баланс парниковых газов при производстве электроэнергии из соломы подробно исследованы в работе [19] для условий Испании. Рассмотрен пример ТЭС мощностью 25 МВт_э, топливом для которой является тюкованная солома злаковых культур (ржи, тритикале¹, овса). В данном случае считается, что эти культуры специально выращиваются для использования соломы в качестве топлива.

Установлено, что урожайность используемых культур, которая в исследовании колебалась в диапазоне 3-11 сух. т/га, имеет большое влияние на энергетические и экологические показатели работы ТЭС. Это объясняется тем, что расход топлива на выполнение ряда операций по сбору биомассы (например, скашивание, тюкование) зависит от урожайности сельскохозяйственной культуры на данном земельном участке. Так, для двух участков, исследованных в работе [19], расход дизельного топлива на

¹ Тритикале – искусственный гибрид ржи и пшеницы

скашивание растений колебался в диапазоне 12,2-18,4 л/га и 11,6-18,6 л/га, а на тюкование – в диапазоне 7,8-10,6 л/га и 9,2-14,9 л/га, соответственно.

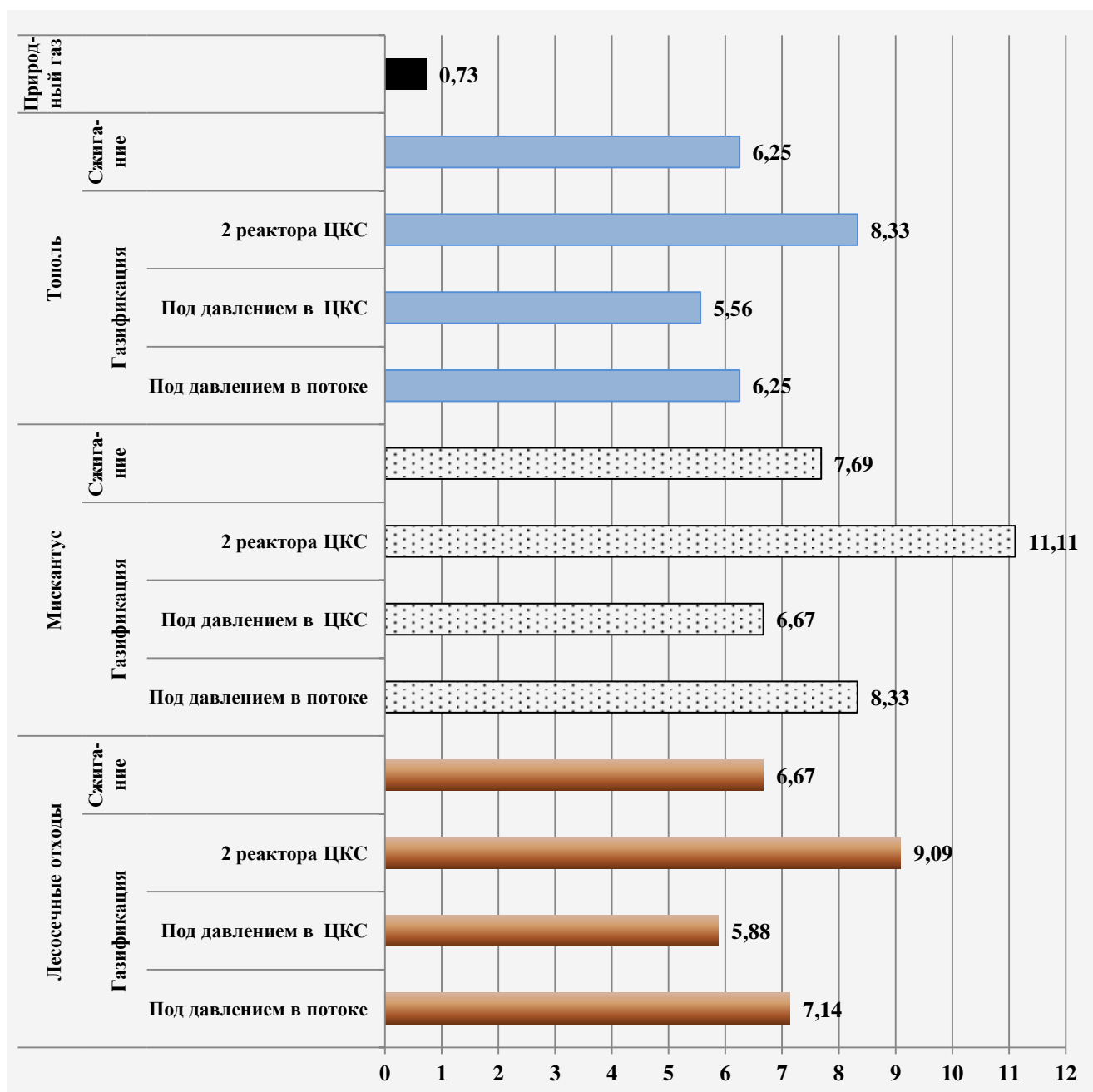


Рис. 3. Коэффициент выхода энергии EUC_{NR} для технологий прямого сжигания и газификации биомассы [13]

Расход ископаемого топлива на сбор и подготовку биомассы является важной составляющей энергии «на входе» в установку и, соответственно, влияет на расчет коэффициента выхода энергии EUC_{NR} . Для технологий производства электроэнергии из биомассы это особенно важно, поскольку, как было показано **Таблице 1**, их энергоэффективность является сравнительно небольшой и необходимо знать факторы, от которых она зависит в наибольшей степени. По данным работы [19] доля затрат

дизельного топлива на сельскохозяйственные операции в общем объеме энергии «на входе» ТЭС составляет 25-30%.

Установлено, что в рассматриваемом диапазоне урожайности сельскохозяйственных культур коэффициент выхода энергии $EY_{C_{NR}}$ для ТЭС 25 МВт_э может колебаться от **1,1** до **3,5**. (Рис. 4). Это означает, что в зависимости от затрат энергии на сбор и подготовку биомассы работа ТЭС может быть как достаточно эффективной с точки зрения энергетического баланса ($EY_{C_{NR}} > 2$), так и энергетически неэффективной ($EY_{C_{NR}} < 2$). Граница соответствует урожайности сельскохозяйственных культур порядка 7 сух. т/га.

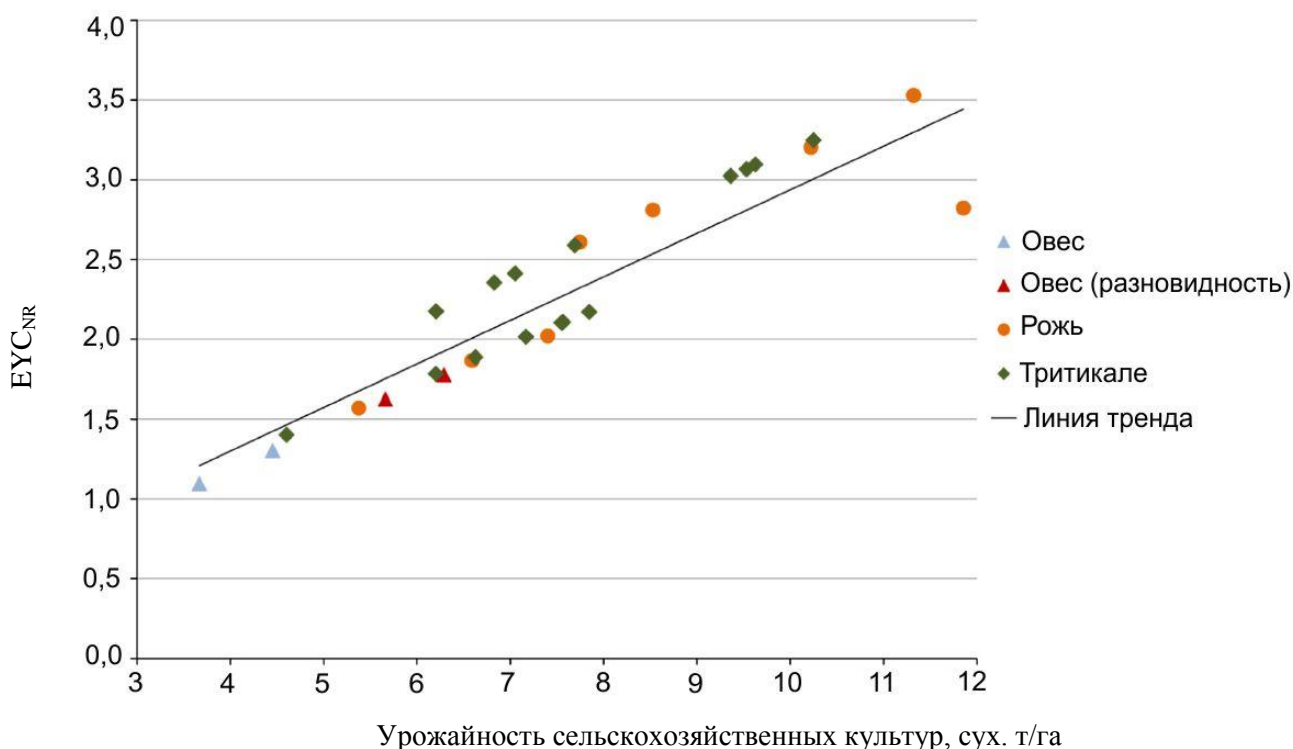


Рис. 4. Зависимость коэффициента выхода энергии для ТЭС 25 МВт_э на соломе от урожайности используемых сельскохозяйственных культур [19]

Производство биогаза

Оценка жизненного цикла технологий производства биогаза выполнена в работе [14] для условий Германии. Рассмотрено получение биогаза из силоса кукурузы с последующим производством электрической энергии двигателем мощностью 255 кВт_э. Для трех районов Нижней Саксонии проанализировано влияние местных условий, в первую очередь качества почвы, климатических условий, применяемой технологии выращивания и, соответственно, урожайности кукурузы на энергетические и экологические показатели биогазовых технологий. Другим важным фактором, который влиял на результаты исследования, была доля полезно утилизированной тепловой энергии, которая считалась побочным продуктом работы БГУ.

Проведенные расчеты показали, что энергетическая эффективность исследованных технологий производства биогаза с последующим получением электроэнергии находится на грани допустимых значений. Величина коэффициента выхода энергии EUC_{NR} для всех рассмотренных вариантов колеблется в районе **2** (меньше рекомендуемого значения для биоэнергетических технологий) (**Табл. 2**). Самый высокий показатель (**2,2**) получен для биогазовой установки в Göttingen, где затраты невозобновляемой энергии на выращивание кукурузы наименьшие, а доля полезной утилизации тепловой энергии наибольшая.

Для БГУ, работающих на кукурузе, установлено, что из общего объема ископаемой энергии "на входе" наибольшая доля (до 70%) тратится собственно на выращивание кукурузы. Еще часть ископаемой энергии (до 30%) расходуется на транспортировку биомассы к месту хранения (силосные кагаты) и загрузку в биореактор (принятое в исследовании среднее расстояние перевозки – 20 км). Собственные нужды биогазовых установок (электроэнергия на привод мешалок, насосов и т.д., а также тепловая энергия для обогрева биореакторов) обычно в полной мере обеспечиваются за счет части энергии производимого биогаза (до 15-25%). Эта информация может быть полезной при оптимизации энергозатрат «на входе» БГУ для обеспечения более высокого коэффициента выхода энергии.

Таблица 2. Характеристики исследуемых вариантов производства электроэнергии из биогаза [14]

Показатели	Вариант I (район Göttingen)	Вариант II (район Celle)	Вариант III (район Hildesheim)
Потребление ископаемых топлив на выращивание кукурузы, кг у.т./т силоса*	5,8	8,2	6,2
Потребление э/э на собственные нужды БГУ, % произведенной э/э	7%	7%	7%
Потребление тепловой энергии на собственные нужды БГУ, кВт·час/м ³ биогаза	0,256	0,256	0,256
Доля полезно утилизированной тепловой энергии	60%	30%	40%
EUC_{NR}*	2,2	1,84	2,1

* Пересчет авторов аналитической записки по данным работы [14].

Можно ожидать, что для биогазовых установок EUC_{NR} будет выше 2 для случаев использования в качестве сырья большей доли отходов сельского хозяйства или других видов отходов. Этот вывод подтверждается данными исследования [20], где была рассмотрена энергетическая эффективность БГУ, работающих на разных видах сырья для

условий Швеции. Наилучший результат ($EUC_{NR} = 6,2$) получен для случая производства биогаза из жировых осадков (Таблица 3). Этому виду сырья соответствует наивысший удельный выход биогаза – 22 ГДж/сух. т и нулевые затраты на подготовку биомассы. Самый низкий коэффициент выхода энергии (2,4) приходится на энергетические культуры как сырье для получения биогаза. Этот вариант имеет наибольшие затраты энергии на подготовку сырья, поскольку включает этап выращивания культур, и средний выход биогаза – 10,6 ГДж/сух. т.

Таблица 3. Характеристики биогазовых установок, работающих на разных видах сырья [20]

Вид сырья	Содержание сухого вещества, %	Выход БГ ГДж/сух.т	Затраты энергии «на входе», ГДж/сух. т			EUC_{NR}^*
			Подготовка сырья	Транспортировка сырья (15 км)	Доставка сброженного остатка на поля	
Коровий навоз	8	6,2	0	0,19	0,15	2,6
Свиной навоз	8	7	0	0,19	0,15	3,0
Жировые осадки	4	22	0	1,2	0,24	6,2
Энергетические культуры	23	10,6	1,9	0,07	0,24	2,4
Органическая часть ТБО	30	12,4	0,8	0,24	0,24	3,6
Отходы скотобойни	17	9,4	0	0,14	0,24	3,6
Ботва сахарной свеклы	19	10,6	0,54	0,09	0,24	3,5
Солома	82	7,1	0,28	0,05	0,24	2,7

* Пересчет авторов Аналитической записки по данным работы [20] для базового метода оценки энергетических затрат «на входе».

Производство биоэтанола и биодизеля

Обычно много споров вызывает вопрос целесообразности производства биотоплив первого поколения, в частности биоэтанола. Существует мнение, что затраты энергии на производство биоэтанола превышают энергетическое содержание полученного биотоплива. Рассмотрим несколько весомых исследований, посвященных этому вопросу.

В работе [8] оценено энергетическую эффективность различных технологий производства биоэтанола (для условий Франции). Проанализировано три случая: I –

производство биоэтанола из сахарной свеклы с побочным продуктом – бардой², II – производство биоэтанола из сахарной свеклы с сахаром как «побочным» продуктом³, III – производство биоэтанола из зерна пшеницы с побочным продуктом – сухой дробинкой⁴ с растворимыми веществами. Для каждого случая были рассмотрены несколько вариантов распределения затраченной энергии (т.е. энергии «на входе») между основным и побочными продуктами производства: по их массе, по содержанию энергии, по рыночной стоимости, по энергии, необходимой для производства заменителя побочного продукта (энергия «замещения»). На сегодня не существует единого мнения специалистов относительно того, какой метод распределения энергозатрат является наилучшим. Но чаще всего применяют метод распределения по массе конечных продуктов.

Результаты расчета показывают, что коэффициент выхода энергии EUC_{NR} существенно отличается для различных технологий получения биоэтанола и зависит также от способа распределения «входящих» энергозатрат по конечным продуктам (Таблица 4).

Таблица 4. Энергетическая эффективность технологий производства биоэтанола [8]

Метод распределения энергозатрат по конечным продуктам	Биоэтанол из сахарной свеклы**			Биоэтанол из пшеницы
	Вариант I	Вариант 50% I / 50% II	Вариант II	Вариант III
	EUC_{NR}	EUC_{NR}	EUC_{NR}	EUC_{NR}
Без распределения – все отнесено на биоэтанол	1,42	0,54	0,33	0,83
По массе*	1,59	1,28	1,02	2,23
По содержанию энергии	1,51	1,13	0,89	1,52
По рыночной стоимости	1,47	1,22	0,98	1,77
По энергии, необходимой для производства заменителя побочного продукта	1,48	1,12	0,88	0,96

* Наиболее распространённый вариант распределения.

** *Варианты производства биоэтанола: I – из сахарной свеклы с бардой как побочным продуктом, II – из сахарной свеклы с сахаром как «побочным» продуктом, III – из зерна пшеницы с сухой дробинкой с растворимыми веществами как побочным продуктом.*

При производстве биотоплива из сахарной свеклы для всех рассмотренных вариантов $EUC_{NR} < 2$, а при методах распределения энергозатрат не по массе конечных продуктов – даже < 1 . Это свидетельствует об *очень низкой энергетической*

² Жидкость (суспензия) светло-коричневого цвета с запахом зерна или другого сырья.

³ Поскольку предметом исследования является биоэтанол, то он условно рассматривается как основной продукт, а сахар – как побочный.

⁴ Дробина состоит из оболочек и других частиц зерна после отделения от них суслу.

эффективности получения биоэтанола или вообще об ее отсутствии. Единственный положительный результат дает вариант производства биотоплива из пшеницы с распределением «входящих» энергозатрат по массе конечных продуктов – биоэтанола и сухой дробины. В этом случае коэффициент выхода энергии $EYC_{NR} > 2^5$, что удовлетворяет минимальным требованиям по энергетической эффективности биоэнергетических технологий.

Представляет значительный интерес исследование [9], в котором проведен детальный анализ полной энергоемкости производства биоэтанола и биодизеля по существующим технологиям для условий Украины. Рассмотрены варианты получения биоэтанола из озимой пшеницы, ярового ячменя и сахарной свеклы. Результаты оценки показывают, что при использовании технологии вакуумной ректификации, энергозатраты на производство биоэтанола из всех рассмотренных видов сырья практически равны энергосодержанию полученного биотоплива ($EYC_{NR} \approx 1$) (Табл. 5). При использовании же технологии атмосферной ректификации затраты энергии на производство биоэтанола превышают его энергосодержание ($EYC_{NR} < 1$).

Таблица 5. Энергетические показатели технологий производства биоэтанола [9]

Сырье	Полные энергозатраты*, МДж/л		Коэффициент выхода энергии EYC_{NR}^{**}	
	Атмосферная ректификация $CED 1$	Вакуумная ректификация $CED 2$	Атмосферная ректификация $Q_{BE} / CED 1$	Вакуумная ректификация $Q_{BE} / CED 2$
Озимая пшеница	28,58	22,88	0,8	1,0
Ярый ячмень	25,58	19,88	0,9	1,1
Кукуруза	27,39	21,69	0,8	1,0
Сахарная свекла	29,7	24,3	0,8	0,9

* Учтены все технологические (физические) затраты. Не учтены энергозатраты, связанные с работой людей, амортизацией оборудования и т.п.

** Здесь и далее EYC_{NR} рассчитан авторами Аналитической записки по данным работы [9]. Теплотворная способность биоэтанола $Q_{BE} = 22,5$ МДж/л.

В работе также приведены данные о том, что в США полные энергетические затраты на производство биоэтанола составляют от 18 МДж/л до 38,2 МДж/л. С учетом этих показателей коэффициент выхода энергии EYC_{NR} составляет **0,59-1,25**, то есть является недопустимо низким.

⁵ В более поздней работе этих же авторов [17] для данного варианта $EYC_{NR} = 1,93$. Это связано с тем, что ранее авторы относили на биоэтанол 37% общих энергозатрат «на входе», а затем повысили этот показатель до 42,7%. Это является дополнительным свидетельством того, что производство биоэтанола первого поколения находится «на грани» энергетической эффективности.

Таким образом, авторы [9] делают вывод, что *данное направление получения биотоплива нельзя считать энергетически целесообразным*. Оно может иметь только локальное значение в случае, когда сырье для производства биоэтанола является отходом, подлежащим утилизации или уничтожению. Или другими словами, когда затраты энергии на транспортировку и подготовку сырья незначительны и не превышают 4-5 МДж/л.

Относительно биодизельного топлива в исследовании [9] рассматривается случай его производства из рапсового масла путем переэтерификации масла метиловым спиртом. Оценено, что полная энергоемкость производства биотоплива составляет 23,5-29,3 МДж/кг. Исходя из энергетической емкости биодизеля 40 МДж/кг, эти показатели соответствуют коэффициенту выхода энергии $EUC_{NR} = 1,36-1,70$, что значительно ниже минимальных значений, рекомендованных в рассмотренной выше работе [3] ($EUC_{NR} > 2$). Авторы [9] отмечают, что с учетом энергетического эквивалента факторов, вызванных физическим трудом людей, амортизацией оборудования и сооружений, финансовыми и другими затратами, полная энергоемкость производства биодизеля из рапсового масла составит 40-50 МДж/кг ($EUC_{NR} = 0,8-1,0$). Это означает, что *производство биодизеля также является нецелесообразным с энергетической точки зрения*.

Экологический анализ

Снижение выбросов парниковых газов является одним из наиболее весомых показателей при оценке влияния биоэнергетических технологий на окружающую среду. И хотя биомасса считается CO₂-нейтральным топливом, при операциях ее заготовки, складирования, транспортировки, предварительной обработки и использования происходит потребление энергии ископаемого топлива, что в свою очередь приводит к выбросам парниковых газов. Основными парниковыми газами, выбросы которых имеют место при работе энергетических систем являются диоксид углерода (CO₂), метан (CH₄) и закись азота (N₂O). Величина выбросов всех парниковых газов приводится к эквивалентному показателю выбросов CO₂ через соответствующие коэффициенты.

Ниже рассмотрим величину сокращения выбросов парниковых газов для различных биоэнергетических технологий по сравнению с установками на ископаемых топливах, и соответствует ли она требованиям Директивы 2009/28/ЕС [1]. Напомним, что согласно этой Директиве, снижение выбросов парниковых газов при внедрении технологий возобновляемой энергетики должно быть не менее **35%** по сравнению с аналогичным использованием ископаемых топлив. С 01.01.2017 минимальное требование увеличивается до **50%**, а с 01.01.2018 – до **60%** для установок, введенных в эксплуатацию с 01.01.2017.

В **Таблице 6** представлены результаты исследования [16], проведенного в рамках Задачи 38 Международного Энергетического Агентства, собственные результаты авторов Аналитической записки и данные по типичным выбросам парниковых газов при производстве биотоплив согласно Директиве 2009/28/ЕС.

Таблица 6. Удельные выбросы парниковых газов для различных технологий производства энергии из биомассы

Виды технологий	Удельные выбросы ПГ		Сокращение выбросов ПГ	
	г CO _{2-экв} /кВт·ч _т	г CO _{2-экв} /кВт·ч _т	г CO _{2-экв} /кВт·ч _т	%
Производство тепловой энергии				
Котел на отходах древесины (150 кВт _т) [16]	52	327		86% ¹⁾
Котел на мискантусе (70 кВт _т) [16]	101	295		75% ¹⁾
Котел на древесной щепе (500 кВт) ⁴⁾	39	185		83%
Котел на древесной щепе из энергетической вербы (300 кВт) ⁴⁾	39	185		83%
Котел на тюках соломы (500 кВт) ⁴⁾	14	211		94%
Котел на гранулах из древесины (100 кВт) ⁴⁾	33	194		85%
Котел на гранулах из соломы (100 кВт) ⁴⁾	60	165		72%
Производство электроэнергии				
ТЭС на древесной щепе (2 МВт _э) ⁴⁾	213	909		81%
ТЭС на тюках соломы (2 МВт _э) ⁴⁾	217	905		80%
ТЭС на тюках соломы (25 МВт _э) [19] ⁹⁾	178 ¹⁰⁾	нет данных		65%
ТЭС на отходах древесины (30 МВт _э) [16]	71	950		93% ²⁾
ТЭС 500 МВт _э : совместное сжигание отходов древесины с углем [16]	128	881		87% ²⁾
Совместное производство тепловой и электрической энергии				
БГУ с совместным сбраживанием навоза и силоса кукурузы (годовое производство э/э 4 ГВт·ч, тепловой энергии 7,2 ГВт·ч) [16]	266	207		56% ³⁾
ТЭЦ на древесной щепе (2 МВт _э +10 МВт _т) ⁴⁾	35	152		81%
ТЭЦ на тюках соломы (2 МВт _э +10 МВт _т) ⁴⁾	37	150		80%
Моторные биотоплива [1]⁵⁾				
Биогаз из навоза ⁸⁾	12-13			84-86%
Биогаз с полигонов ТБО ⁸⁾	17			80%
Биотоплива I поколения				
Биоэтанол из сахарной свеклы	33			61%
Биоэтанол из пшеницы	57			32%
Биоэтанол из кукурузы	37			56%
Биодизель из рапса	46			45%
Биодизель из рапса [16]	111 г CO _{2-экв} /км	80 г CO _{2-экв} /км		58% ⁶⁾
	157 г CO _{2-экв} /км	34 г CO _{2-экв} /км		18% ⁷⁾
Биодизель из подсолнечника	35			58%
Биодизель из сои	50			40%
Биотоплива II поколения				
Биоэтанол из соломы пшеницы	11			87%
Биоэтанол из древесных отходов	17			80%
Биодизель ФТ	4-6			93-95%

1) По сравнению с мазутным котлом. 2) По сравнению с угольной электростанцией. 3) По сравнению с газовой ТЭЦ. 4) Результаты авторов аналитической записки для условий Украины (расстояние транспортировки биомассы - 50 км). Сравнение с вариантом сжигания природного газа. 5) Типичные значения согласно Приложению 5 Директивы 2009/28/ЕС [1]. 6) Побочный продукт глицерин используется в качестве материала в пищевой или фармацевтической промышленности. 7) Побочный продукт глицерин используется как топливо. 8) В виде сжатого метана. 9) Данные для случая урожайности зерновых культур порядка 7 сух. т/га. Сравнение с вариантом сжигания природного газа. 10) Пересчет авторов аналитической записки по данным соответствующей работы.

Из данных таблицы видно, что все установки на твердой биомассе и большинство установок на биогазе соответствуют текущим и будущим требованиям Директивы 2009/28/ЕС – сокращение выбросов парниковых газов, обусловленное их работой, составляет > **60%**

Что касается жидких моторных биотоплив, то большинство показателей биодизеля и биоэтанола первого поколения удовлетворяют текущим требованиям Директивы 2009/28/ЕС, некоторые удовлетворяют требованию, которое вступит в силу с 2017 года (мин. 50%), и практически все показатели выходят за пределы требования, которое будет применяться с 2018 года (мин. 60%). Для биотоплив второго поколения результаты намного лучше – сокращение эмиссии парниковых газов составляет **80-95%**. Хорошие показатели имеет также биогаз как моторное топливо – **более 80%**.

Эти результаты хорошо согласуются с данными других авторов, собранными и представленными в исследовании [16] (**Рис. 5-8**). При производстве энергии из биомассы снижение выбросов парниковых газов составляет **70-90%** по сравнению с энергоустановками на ископаемых топливах. При применении моторных биотоплив первого поколения сокращение эмиссии ПГ незначительное. Наилучшие показатели имеют биоэтанол и биодизель второго поколения – для них уменьшение выбросов ПГ может достигать более **90%**. Достаточно хороший показатель соответствует также случаю применения биогаза в качестве моторного топлива – в среднем около **65%**.

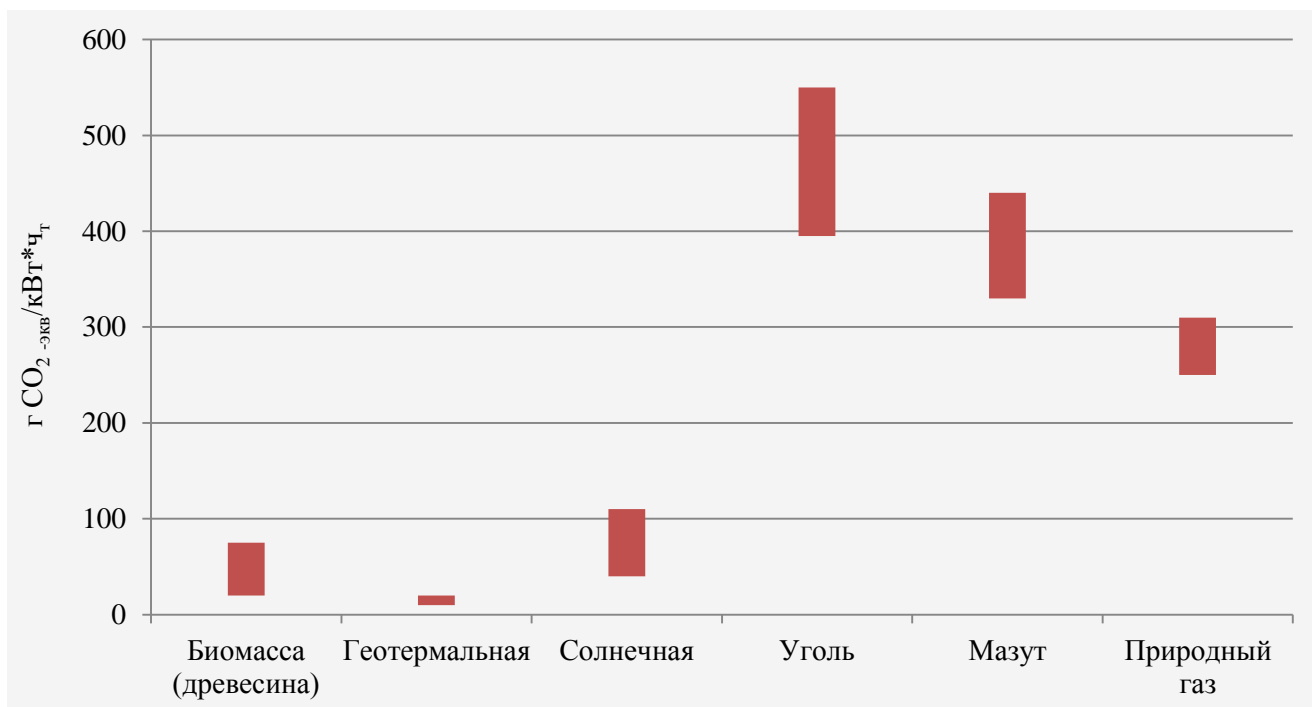
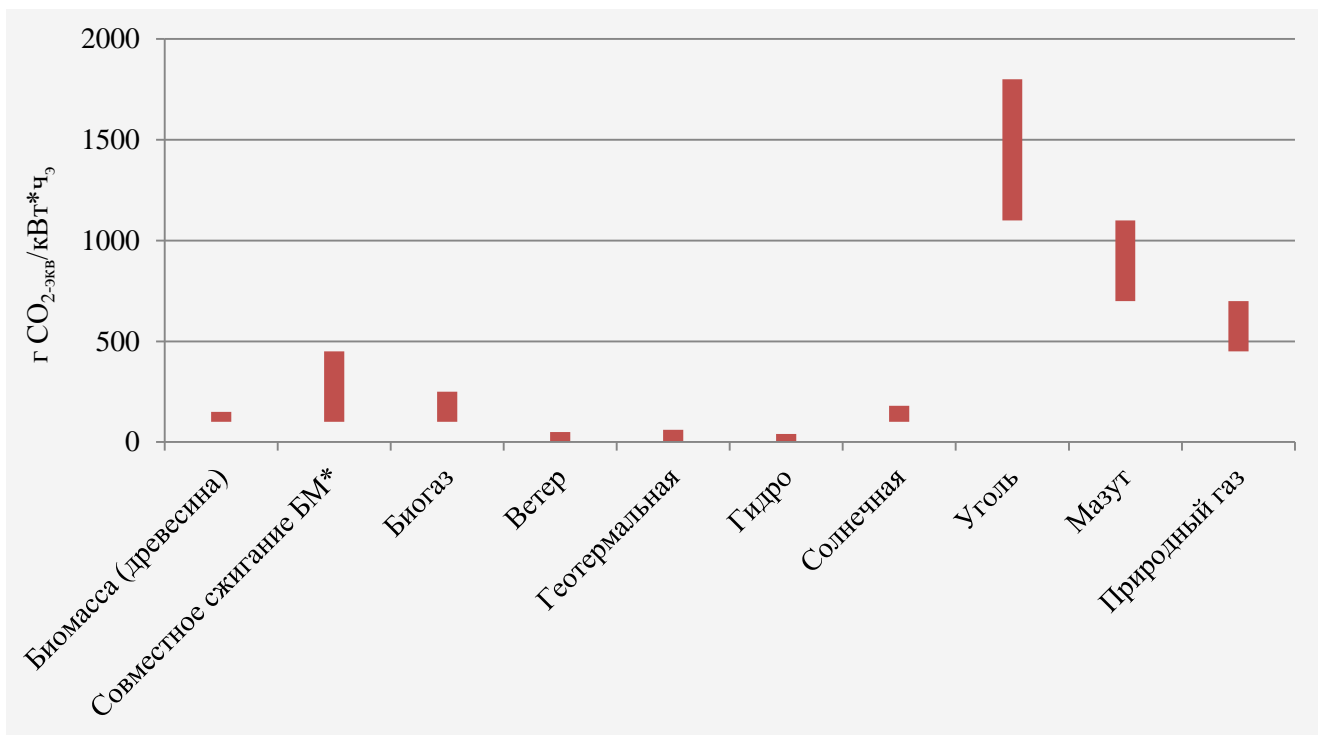


Рис. 5. Удельные выбросы парниковых газов при производстве тепловой энергии [16]



* 5-15% по энергии

Рис. 6. Удельные выбросы парниковых газов при производстве электроэнергии [16]

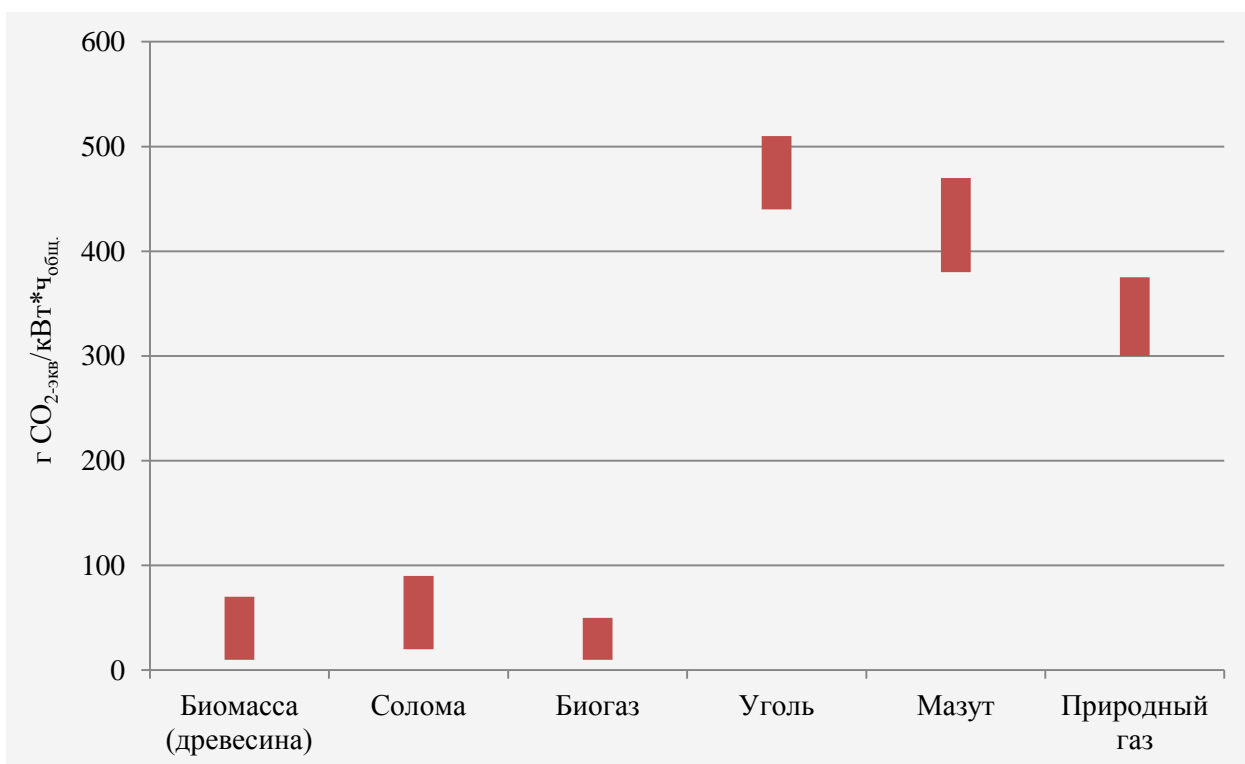


Рис. 7. Удельные выбросы парниковых газов при комбинированном производстве тепловой и электрической энергии [16]

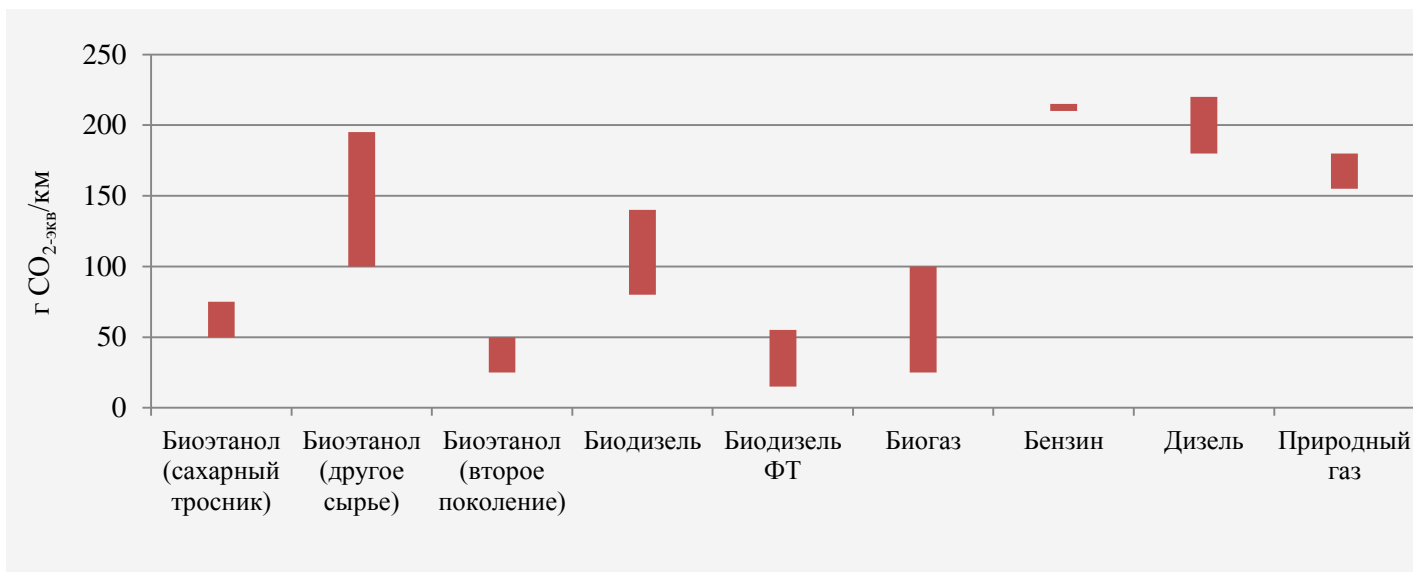


Рис. 8. Удельные выбросы парниковых газов при производстве моторных топлив [16]

Влияние расстояния транспортировки на энергетические и экологические показатели биоэнергетических технологий

Как было отмечено ранее, одним из параметров, существенно влияющих на энергетическую эффективность внедрения биоэнергетических технологий, является расстояние транспортировки биомассы к месту ее обработки, конечного потребления и т.п. Обычно считается, что биомассу (кроме биомассы в виде гранул/брикетов) целесообразно перевозить на расстояние до 50-100 км (здесь и далее речь идет об автотранспорте), однако конкретные литературные данные по этому вопросу являются очень ограниченными.

Согласно данным работы [3], для сохранения энергетической эффективности биоэнергетической установки на минимально необходимом уровне ($EYC_{NR} > 2$) древесную щепу можно перевозить на расстояние до 200-300 км, а древесные гранулы практически не имеют ограничения по расстоянию транспортировки. Если же энергоустановка на гранулах должна соответствовать критерию высокой энергетической эффективности ($EYC_{NR} > 5$), то расстояние перевозки ограничивается радиусом порядка 1200 км.

Для получения более детальной информации авторы Аналитической записки исследовали влияние расстояния транспортировки биомассы/биотоплива на коэффициент выхода энергии EYC_{NR} для условий Украины. Результаты расчетов для типичных установок показали, что тюкованную солому, древесную щепу и гранулы из биомассы можно перевозить на расстояние до 300 км с сохранением достаточно высокого коэффициент выхода энергии ($EYC_{NR} > 2$) (**Рис. 9**).

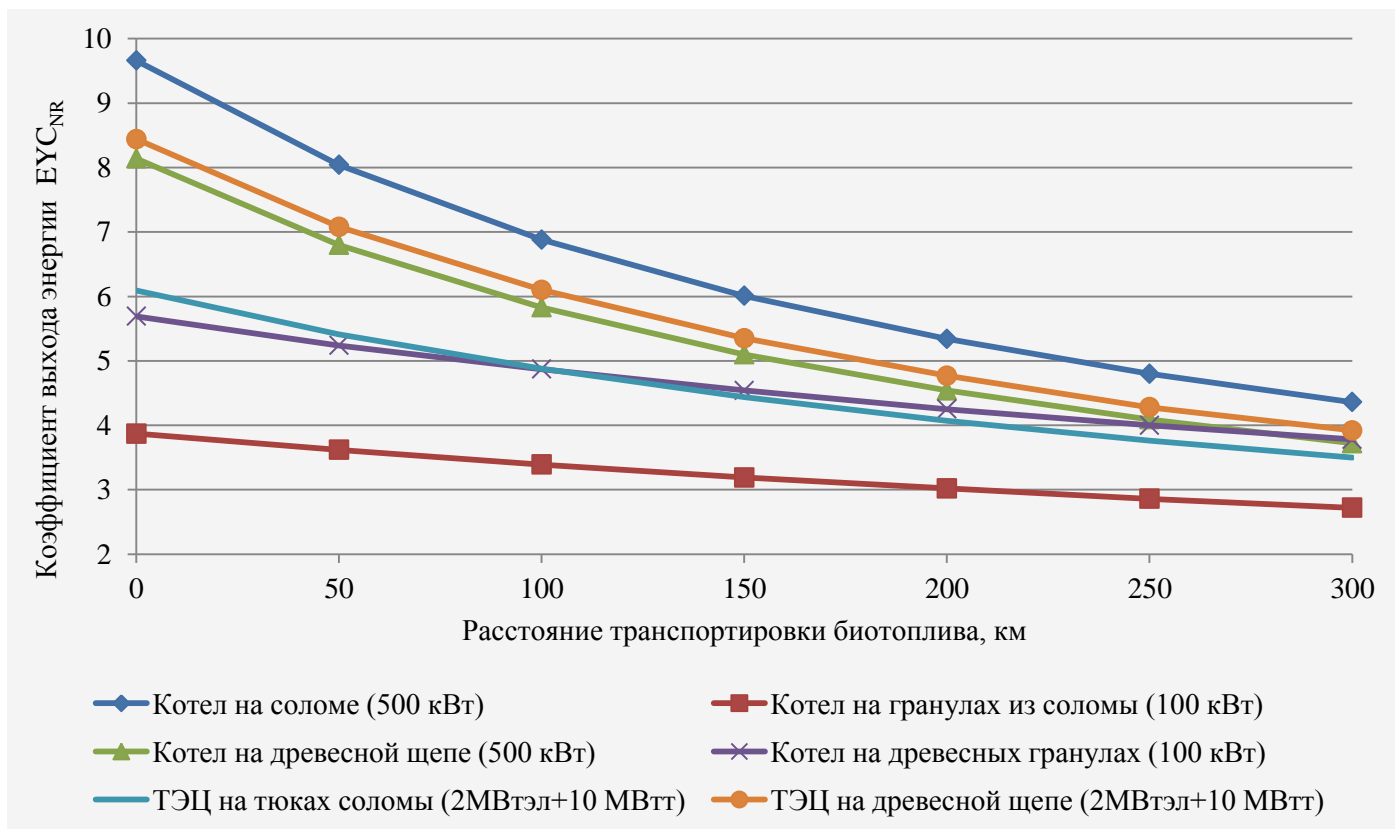


Рис.9. Зависимость коэффициента выхода энергии от расстояния транспортировки биотоплива

Предельные значения расстояния перевозки, соответствующие $EUC_{NR} = 1$, $EUC_{NR} = 2$ и $EUC_{NR} = 5$, представлены в **Таблице 7**. Если коэффициент выхода энергии равен **1**, это означает, что расходы (невозобновляемой) энергии, необходимые для создания и обеспечения работы биоэнергетической установки, эквивалентны энергии, полученной «на выходе». $EUC_{NR} = 2$ соответствует минимально допустимой энергетической эффективности работы установки, а $EUC_{NR} = 5$ и **больше** соответствует наиболее рекомендуемым значениям (по данным работы [3]).

В таблице представлены только несколько типичных примеров (у авторов имеются результаты расчетов для различных мощностей установок), однако они наглядно отражают общую картину. Для варианта работы биоэнергетической установки (кроме ТЭС) на уровне энергоэффективности не ниже минимально рекомендованного ($EUC_{NR} > 2$) расстояние перевозки биотоплива может быть довольно большим – **500-1000 км** в зависимости от вида биотоплива и типа установки. Если же необходимо обеспечить более высокий уровень энергоэффективности ($EUC_{NR} > 5$), то расстояние транспортировки следует ограничить до **100-200 км**, а в некоторых случаях – и до минимального значения.

Следует отметить, что сделанные выводы носят общий характер, а в каждом конкретном случае необходимо выполнять детальные расчеты с тщательным учетом местных особенностей.

Таблица 7. Максимально целесообразное расстояние транспортировки биотоплив автотранспортом.

Тип энергетической установки	Предельное расстояние транспортировки, км		
	<i>$EY_{NR} = 1$</i> <i>энергия «на входе»</i> <i>равна энергии «на</i> <i>выходе»</i>	<i>$EY_{NR} = 2$</i> <i>минимально</i> <i>допустимое</i> <i>значение</i>	<i>$EY_{NR} = 5$</i> <i>рекомендуемое</i> <i>значение</i>
Котел на древесной щепе (500 кВт)	1800	800	170
Котел на древесной щепе из энергетической вербы (300 кВт)	2100	900	120
Котел на гранулах из древесины (100 кВт)	2800	1100	80
ТЭЦ на древесной щепе (2 МВт _{эл} +10 МВт _т)	1900	850	170
ТЭС на древесной щепе (2 МВт _э)	250	0	-*
Котел на соломе (500 кВт)	1800	800	200
Котел на гранулах из соломы (100 кВт)	1800	500	-*
ТЭЦ на тюках соломы (2 МВт _э +10 МВт _т)	1500	800	80
ТЭС на тюках соломы (2 МВт _э)	150	***	-*

* Даже при нулевом расстоянии перевозки биотоплива $EY_{NR} < 5$.

** Даже при нулевом расстоянии перевозки биотоплива $EY_{NR} < 2$.

Выводы

Внедрение технологий производства энергии из биомассы предлагает широкие возможности для замещения ископаемых топлив. Определение целесообразности и приоритетности внедрения определенных технологий в конкретных условиях может основываться на результатах расчета энергетического баланса и баланса парниковых газов – основных элементов оценки жизненного цикла технологий.

Анализ литературных данных и собственных результатов свидетельствует о высокой энергетической эффективности технологий производства тепловой энергии из твердой биомассы. Для всех рассмотренных котельных установок коэффициент выхода энергии $EY_{NR} > 2$ (т.е. больше минимально допустимого значения), а большинство из них имеет $EY_{NR} > 5$, что соответствует наиболее рекомендуемому диапазону. ТЭЦ на твердой биомассе также имеют высокие энергетические показатели – для всех рассмотренных случаев $EY_{NR} > 5$. Производство отдельно электроэнергии из твердой биомассы имеет заметно более низкую энергетическую эффективность по сравнению с комбинированным производством тепловой и электрической энергии. Для большинства рассмотренных ТЭС величина коэффициента выхода энергии составляет **менее или близко 2** в зависимости от вида биомассы и других условий.

Энергетическая эффективность работы биогазовых установок зависит от вида сырья, применяемой технологии и других условий. Согласно литературным данным, для БГУ коэффициент выхода энергии может колебаться от **1,8** до **> 6**.

Ситуация с производством моторных биотоплив (биодизеля и биоэтанола) неоднозначная. По большинству имеющихся данных коэффициент выхода энергии для них существенно **ниже 2**, тогда как некоторые авторы показывают $EUC_{NR} > 2$. Представляется, что положительного с энергетической точки зрения результата можно достичь лишь в отдельных случаях при определенных условиях, например, при использовании сырья в виде отходов, подлежащих утилизации.

По вопросу экологической эффективности биоэнергетических технологий можно отметить, что все установки на твердой биомассе и большинство установок на биогазе соответствуют текущим и будущим требованиям Директивы 2009/28/ЕС – сокращение выбросов парниковых газов, обусловленное их работой, составляет **> 60%**.

Что касается жидких моторных биотоплив, то большинство показателей биодизеля и биоэтанола первого поколения удовлетворяют текущим требованиям Директивы 2009/28/ЕС, некоторые удовлетворяют требованию, которое вступит в силу с 2017 года (мин. **50%**), и практически все показатели выходят за пределы требования, которые будут применяться с 2018 года (мин. **60%**). Для биотоплива второго поколения результаты намного лучше – сокращение эмиссии парниковых газов составляет **80-95%**. Хорошие показатели имеет также биогаз как моторное топливо – **более 80%**.

ЛИТЕРАТУРА

1. Директива 2009/28/ЕС относительно стимулирования использования энергии из возобновляемых источников, внесения изменений и дальнейшего изменения Директив 2001/77/ЕС и 2003/30/ЕС <http://faolex.fao.org/docs/pdf/eur88009.pdf>
2. Распоряжение КМУ «Об утверждении плана мероприятий по выполнению в 2013 году Общегосударственной программы адаптации законодательства Украины к законодательству Европейского Союза» (№ 157-р от 25.03.2013) <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/157-2013-%D1%80>
3. *Thomas Nussbaumer, Michael Oser*. Evaluation of biomass combustion based energy systems by cumulative energy demand and energy yield coefficient. Report for International Energy Agency and Swiss Federal Office of Energy, 2004 <http://www.ieabcc.nl/publications/Nussbaumer IEA CED V11.pdf>
4. ДСТУ ISO 14040:2004 Экологическое управление. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура (18014040:1997, IDT).
5. *Francesco Cherubini, Anders Hammer Strømman*. Life cycle assessment of bioenergy systems: State of the art and future challenges // *Bioresource Technology*, N 102, 2011, P. 437-451. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085241001360X> (Abstract)

6. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Дроздова О.И. Комплексный анализ технологий производства энергии из твердой биомассы в Украине. Часть 1. Солома // Промышленная теплотехника. – 2013, т. 35, № 3, с.56-63.
7. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Дроздова О.И. Комплексный анализ технологий производства энергии из твердой биомассы в Украине. Часть 2. Древесина // Промышленная теплотехника. – 2013, т. 35, № 4, с.56-62.
8. J. Malca, F. Freire. Life cycle energy analysis for bioethanol: allocation methods and implications for energy efficiency and renewability. Proceedings of 17th International Conference on Efficiency, costs optimization simulation and environmental impact of energy and process systems, 7-9 July 2004, Mexico.
http://www2.dem.uc.pt/fausto.freire/gestao_energia/folders/my_papers/biofuel/240_Malca_Freire_working_doc.pdf
9. Белодед В.Д., Тарасенко П.В. Некоторые расчеты относительно энергетической эффективности биотоплив // Проблемы общей энергетики. – 2008, №18, с. 34-39.
10. Hill J., Nelson E., Tilman D et al. Environmental economic and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. –Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 2006.– № 30. – P. 11206-11210.
11. Hecht M.M. Ethanol takes more energy than it gives. – Execut. Intell.Rev., 2006. – 33. – № 19.– P. 21.
12. End the great 2006 bio-fuels swindle. – Execut. Intell. Rev., 2006. – № 22. – P. 4-6.
13. Johanna Pucker, Robin Zwart, Gerfried Jungmeier. Greenhouse gas and energy analysis of substitute natural gas from biomass for space heat //Biomassand bioenergy, N 38, 2012, P. 95-101.
14. Daniela Dressler, AchimLoewen, Michael Nelles. Life cycle assessment of the supply and use of bioenergy: impact of regional factors on biogas production // The International Journal of Life Cycle Assessment. – November 2012, Volume 17, Issue 9, P. 1104-1115
<http://link.springer.com/article/10.1007/s11367-012-0424-9> (Abstract)
15. «Проведение энергетического анализа современных биогазовых установок, ориентированных на широкомасштабное использование в условиях Украины». Отчет по второму этапу целевой комплексной программы научных исследований НАН Украины «Биомасса как топливное сырье», 2008. Подготовлено Институтом общей энергетики НАН Украины.
16. Neil Bird, Annette Cowie, Francesco Cherubini, GerfriedJungmeier. Using a Life Cycle Assessment approach to estimate the net greenhouse gas emissions of bioenergy. Report on IEA Bioenergy Task 38.
<http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/Using-a-LCA-approach-to-estimate-the-net-GHG-emissions-of-bioenergy.pdf>
17. J. Malca, F. Freire. Renewabilityand life-cycle energy efficiency of bioethanol and bio-ethyl tertiary butyl ether (bioETBE): Assessing the implications of allocation // Energy, N 31, 2006, P. 3362-3380.
<https://eg.sib.uc.pt/bitstream/10316/4215/1/file4488b9aae1b34370b38cb3c54fc14bb2.pdf>

18. P. Janulis. Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle // Renewable Energy, N 29, 2004, P. 861-871.

<http://www.rms.lv/bionett/Files/File/BioD-2004-102%20Biodiesel%20LCA%20energy%20balance.pdf>

19. C.M. Sastre, E. Maletta, Y. Gonzalez-Arechavala et al. Centralised electricity production from winter cereals biomass grown under central-northern Spain conditions: Global warming and energy yield assessment

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913006788> (Abstract)

20. M. Berglund, P. Börjesson. Energy analysis of biogas systems. Proc. of 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy, P. 687-690.

Условные обозначения

БГ – биогаз;

БГУ – биогазовая установка;

БМ – биомасса;

ВИЭ – возобновляемые источники энергии;

ЭТБЭ – этил-трет-бутиловый эфир;

КПД – коэффициент полезного действия;

ОЖЦ – оценка жизненного цикла;

ПГ – парниковый газ;

РМЭ – рапсо-метиловый эфир;

ТЭС – тепловая электростанция;

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;

ТБО – твердые бытовые отходы;

ФТ – Фишер-Тропш;

ЦКС – циркулирующий кипящий слой;

ЦТ – централизованное теплоснабжение;

$E_{УС_{NR}}$ – коэффициент выхода энергии;

Q_{BE} – теплотворная способность биоэтанола;

э/э – электроэнергия;

у.т. – условное топливо.

Нижние индексы:

т – тепловой;

об. – общий;

э – электрический.

Предыдущие Аналитические записки БАУ

<http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics>

1. Место биоэнергетики в проекте обновленной Энергетической стратегии Украины до 2030 года
2. Анализ Закона Украины «О внесении изменений в Закон Украины «Об электроэнергетике» №5485-VI от 20.11.2012
3. Барьеры для развития биоэнергетики в Украине
4. Перспективы производства и использования биогаза в Украине
5. Перспективы производства электроэнергии из биомассы в Украине
- 6 Перспективы производства тепловой энергии из биомассы в Украине
7. Перспективы использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине

Общественный союз «Биоэнергетическая ассоциация Украины» (БАУ) был основан с целью создания общей платформы для сотрудничества на рынке биоэнергетики Украины, обеспечения наиболее благоприятных условий ведения бизнеса, ускоренного и устойчивого развития биоэнергетики. Общее учредительное собрание БАУ было проведено 25 сентября 2012 в г. Киев. Ассоциация официально зарегистрирована 8 апреля 2013 года. Членами БАУ стали более 10 ведущих компаний и более 20 признанных экспертов, работающих в области биоэнергетики.

www.uabio.org

