

УДК 620.92

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ ИЗ БИОМАССЫ. ЧАСТЬ 1.

Гелетуха Г.Г., канд. тех. наук, Железная Т.А., канд. тех. наук, Дроздова О.И.

*Институт технической теплофизики НАН Украины, ул. Желябова, 2а, 03680, Киев, Украина*

Розглянуто питання енергетичної ефективності технологій виробництва енергії з біомаси для різних технологій і різних видів біомаси. Проведено детальний аналіз літературних джерел, що використовують методику оцінки життєвого циклу при аналізі енергетичної ефективності виробництва енергії з біомаси.

Рассмотрен вопрос энергетической эффективности технологий производства энергии из биомассы для различных технологий и различных видов биомассы. Проведен детальный анализ литературных источников использующих методику оценки жизненного цикла при анализе энергетической эффективности производства энергии из биомассы.

Energy efficiency of bioenergy production for different technologies and different types of biomass is considered. Detailed analysis of studies on energy efficiency of bioenergy technologies based on the life cycle assessment is performed.

Библ. 20, табл. 1, рис. 4.

**Ключевые слова:** биомасса, биоэнергетические технологии, энергетический анализ, коэффициент выхода энергии, оценка жизненного цикла.

БМ – биомасса;  
ВИЭ – возобновляемые источники энергии;  
ЭТБЭ – этил-трет-бутиловый эфир;  
КПД – коэффициент полезного действия;  
ОЖЦ – оценка жизненного цикла;  
РМЭ – рапсо-метиловый эфир;  
ТЭС – тепловая электростанция;

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;  
ЦКС – циркулирующий кипящий слой;  
ЦТ – централизованное теплоснабжение;  
 $E_{УС_{NR}}$  – коэффициент выхода энергии;  
э/э – электроэнергия;  
у.т. – условное топливо.

### ***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 внедрить 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]. Авторы считают эти ре-

комендации 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 –  $EYC_{NR}$ . 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  $EYC_{NR}$  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  $EYC_{NR}$  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  $EYC_{NR}$  для энергоустановок на ВИЭ должен составлять как минимум  $> 2$ , а наиболее рекомендуемое значение – более 5.

Следует отметить, что кроме коэффициента выхода энергии  $EYC_{NR}$  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  $EYC_{NR}$  только способами сопоставления этих величин.

Определение энергетической эффективности процессов и расчет выбросов парниковых газов является составной частью т.н. оценки жизненного цикла технологий [4]. ОЖЦ – это ком-

плексный 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 статье.

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 статье собраны результаты доступных исследований, в том числе выполненные авторами для условий Украины [6, 7], в которых был проведен энергетический анализ технологий производства энергии или биотоплива из биомассы с использованием коэффициент выхода энергии –  $EYC_{NR}$  (таблица 1). Для информации в таблице также приведены величины  $EYC_{NR}$  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.).

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  $EYC_{NR} > 2$  (т.е. больше минимально необходимого значе-

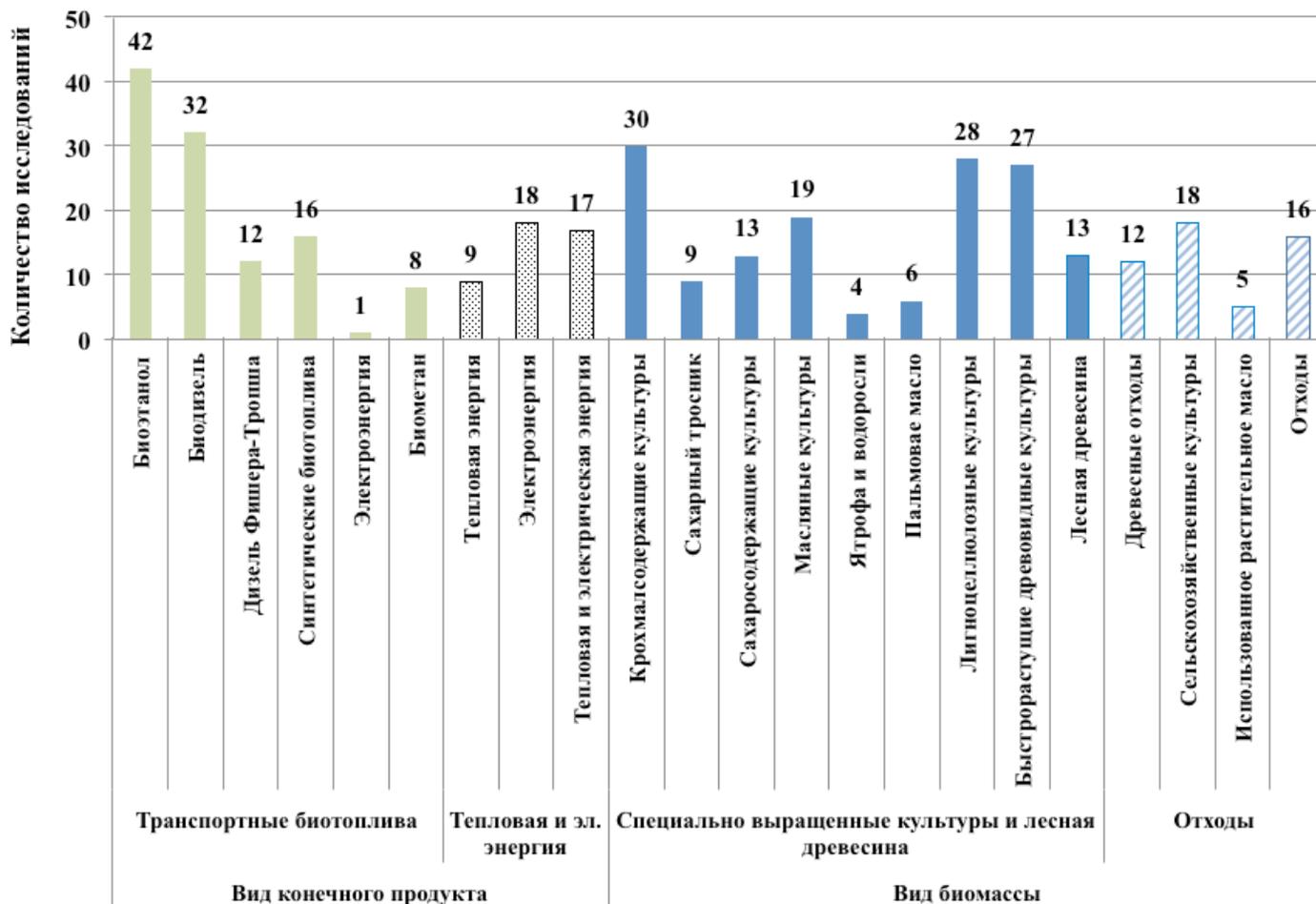


Рис. 1. Распределение работ по ОЖЦ по видам биомассы и конечного продукта [5].

ния), а некоторые из них и  $> 5$ , что соответствует наиболее рекомендуемому диапазону. Конкретное значение  $EYC_{NR}$  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 –  $EYC_{NR} < 5$  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, ре-

зультат 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.

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 выпол-

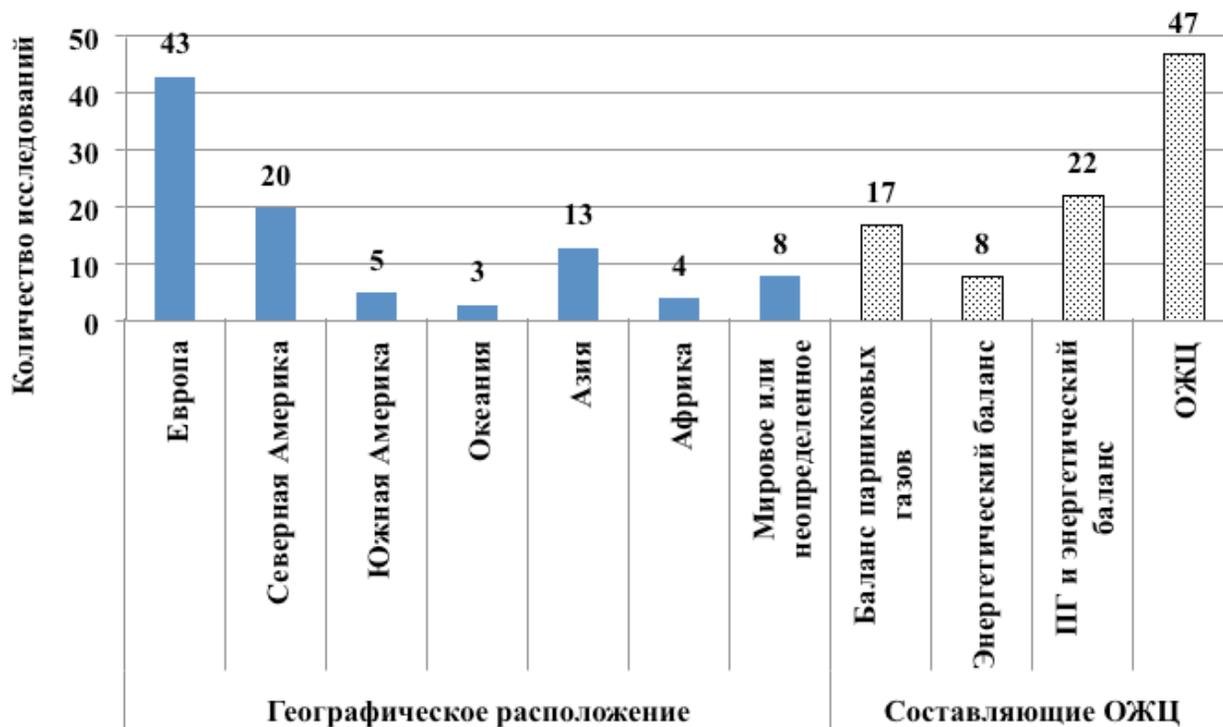


Рис. 2. Распределение работ по ОЖЦ по географическому расположению и содержанию [5].

нено 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  $EYC_{NR}$ .

Результаты исследования показали, что прямое сжигание, газификация в потоке и газификация в ЦКС имеют высокие, близкие по значению показатели энергетической эффективности –  $EYC_{NR} = 5,5...8$  (рис. 3). Для газификации в двух реакторах ЦКС коэффициент выхода энергии даже выше –  $9...11$ . Если сравнивать меж-

ду собой различные виды биомассы, то видно, что для всех технологий, самый высокий  $EYC_{NR}$  соответствует мискантусу как топливу, а на втором месте находятся лесосечные отходы. Для газового котла (базовой системы для сравнения)  $EYC_{NR} = 0,73$ , 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, топливом для которой является тюкованная солома злаковых культур (ржи, тритикале (искусственный гибрид ржи и пшеницы), 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 пока-

Табл. 1. Коэффициент выхода энергии для различных энергоустановок<sup>1)</sup>

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)<sup>2)</sup></i>	6,8
<i>Котел на щепе из энергетической вербы (300 кВт) (Украина)<sup>2)</sup></i>	6,1
<i>Котел на древесных гранулах (100 кВт) (Украина)<sup>2)</sup></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<sub>э</sub> + 10 МВт<sub>м</sub>) (Украина)<sup>2)</sup></i>	7,1
<i>ТЭС на древесной щепе (2 МВт<sub>э</sub>) (Украина)<sup>2)</sup></i>	1,7
ТЭС на отходах древесины (30 МВт <sub>э</sub> ) [16]	4
ТЭС (500 МВт <sub>э</sub> ): совместное сжигание древесных отходов (5% мас.) и угля [16]	2,2
<i>Установки на соломе (Украина)<sup>2)</sup></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<sub>э</sub> + 10 МВт<sub>м</sub>)</i>	5,4
<i>ТЭС на тюках соломы (2 МВт<sub>э</sub>)</i>	1,3
ТЭС на тюках соломы (25 МВт <sub>э</sub> ) (Испания) [19]	2,1 <sup>4)</sup>
<i>Биогазовые установки</i>	
Биогаз из куриного помета [15]	1,8...1,9
Биогаз из навоза [20]	2,6...3,0 <sup>3)</sup>
Биогаз из энергетических культур [20]	2,4 <sup>3)</sup>
Биогаз из силоса кукурузы [14]	1,8...2,2
Биогаз из жировых осадков [20]	6,2 <sup>3)</sup>
<i>Установки по производству моторных биотоплив</i>	
Биодизель <sup>6)</sup> (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

Биодизель (РМЭ) (Украина) [9]	1,36...1,7 <sup>3)</sup>
Биодизель из сои (США) [18]	3,21
Биоэтанол из сахарной свеклы [3]	2,1
Биоэтанол из сахарной светлы [8]	1,0...1,59 <sup>3)5)</sup>
Биоэтанол из пшеницы [8]	2,23 <sup>3)5)</sup>
Биоэтанол из пшеницы [17]	1,93 <sup>3)5)</sup>
Биоэтанол (ЭТБЭ) из пшеницы, сахарной свеклы [17]	0,9...1,05 <sup>3)5)</sup>
Биоэтанол из пшеницы, ячменя, кукурузы, сахарной свеклы (Украина) [9]	0,8...1,1 <sup>3)</sup>
Биоэтанол из кукурузы (США) [10-12]	0,59...1,25 <sup>3)</sup>
<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 (расстояние транспортировки биомассы 50 км).
- 3) Пересчет авторов по данным соответствующей работы.
- 4) Для случая урожайности зерновых культур порядка 7 сух. т/га. При более низкой урожайности  $EYC_{NR} < 2$ .
- 5) Метод распределения энергозатрат – по массе конечных продуктов.
- 6) Здесь и далее в таблице – биодизель из рапса, если не указано иное.

затели 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 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, соот-

ветственно.

Расход ископаемого топлива на сбор и подготовку биомассы является важной составляющей энергии «на входе» в установку и, соответственно, влияет на расчет коэффициента выхода энергии  $EYC_{NR}$ . Для технологий производства электроэнергии из биомассы это особенно важно, поскольку, как было показано в Таблице 1, их энергоэффективность является сравнительно небольшой и необходимо знать факторы, от кото-

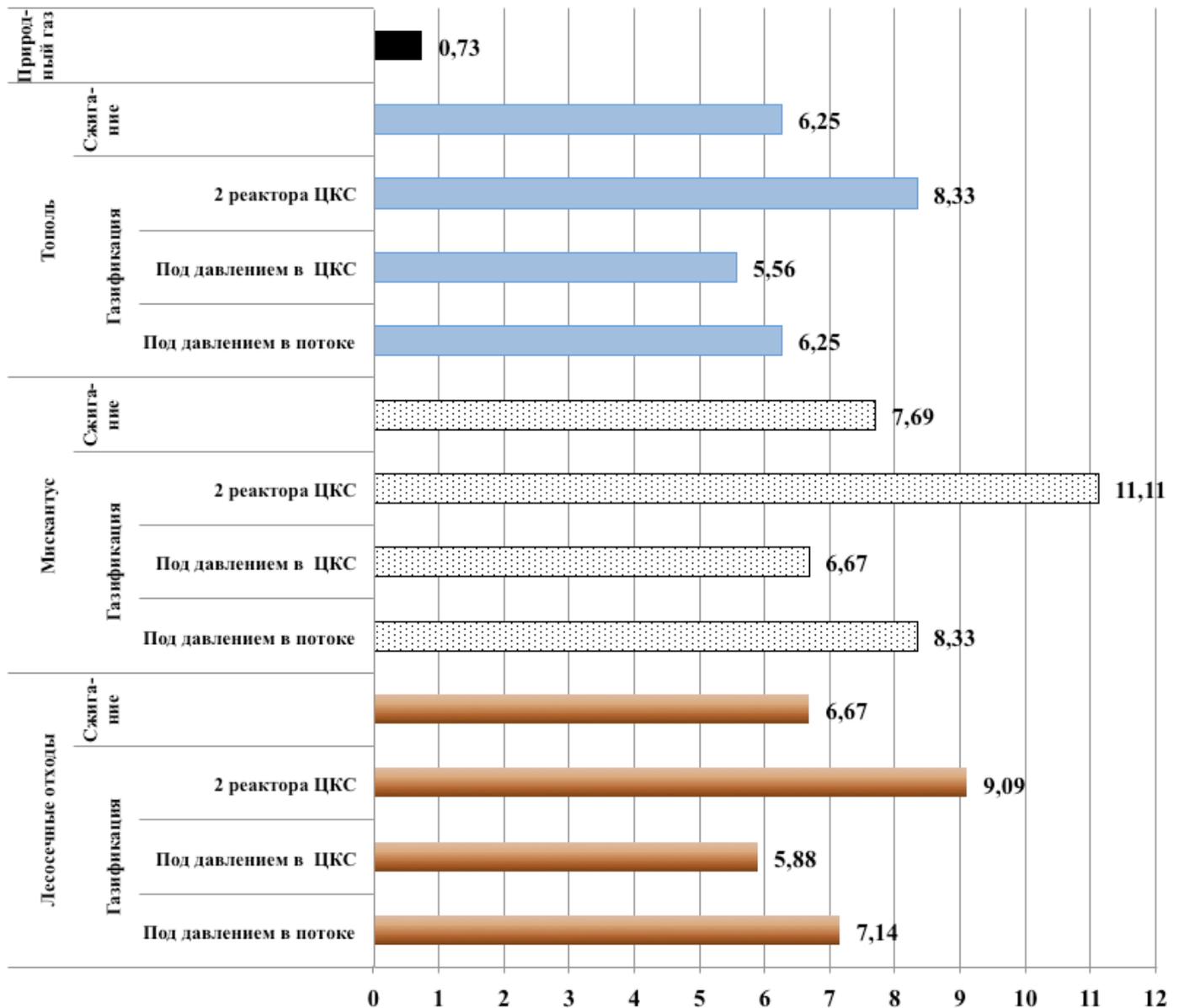


Рис. 3. Коэффициент выхода энергии  $EYC_{NR}$  для технологий прямого сжигания и газификации биомассы [13].

рых 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  $EYC_{NR}$  для ТЭС 25 МВт, 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 ( $EYC_{NR} > 2$ ), так и энергетически неэффективной ( $EYC_{NR} < 2$ ). Граница соответствует урожайности сельскохозяйственных культур порядка 7 сух. т/га.

### Выводы

Внедрение технологий производства энергии из биомассы предлагает широкие возможности для замещения ископаемых топлив.

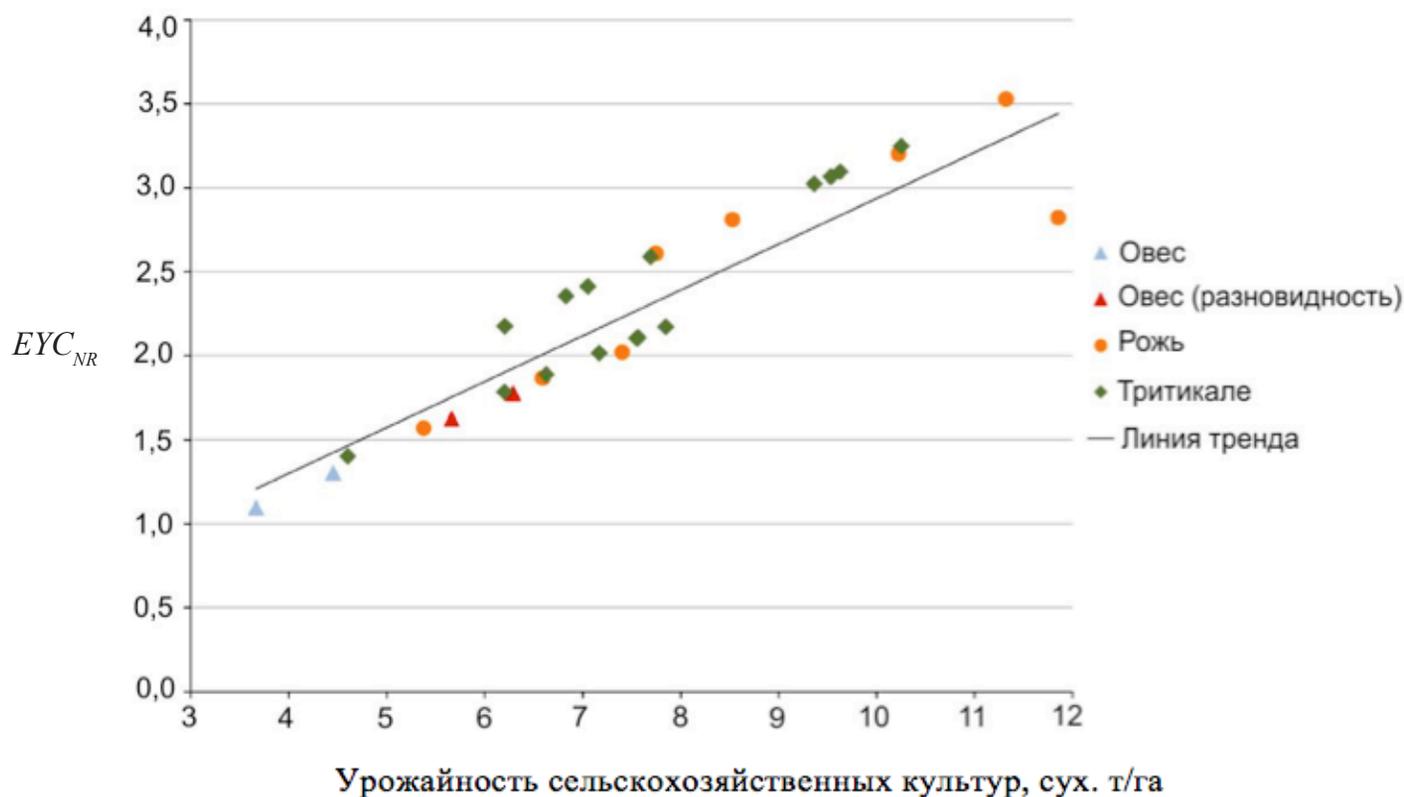


Рис. 4. Зависимость коэффициента выхода энергии для ТЭС 25 МВт, на соломе от урожайности используемых сельскохозяйственных культур [19].

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  $EYC_{NR} > 2$  (т.е. больше минимально допустимого значения), а большинство из них имеет  $EYC_{NR} > 5$ , что соответствует наиболее рекомендуемому диапазону. ТЭЦ на твердой биомассе также имеют высокие энергетические показатели – для всех рассмотренных случаев  $EYC_{NR} > 5$ . 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.

#### 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.
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).
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

4. *ДСТУ ISO 14040:2004* Экологическое управление. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура (18014040:1997, IDT).

5. *Francesco Cherubini, Anders Hammer Stromman*. Life cycle assessment of bioenergy systems: State of the art and future challenges // *Bioresource Technology*, N 102, 2011, P. 437 – 451.

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.

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 // *Biomass and bioenergy*, N 38, 2012, P. 95 – 101.

14. *Daniela Dressler, Achim Loewen, 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.

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, Gerfried Jungmeier*. Using a Life Cycle Assessment approach to estimate the net greenhouse gas emissions of bioenergy. Report on IEA Bioenergy Task 38.

17. *J. Malca, F. Freire*. Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bioethyl tertiary butyl ether (bioETBE): Assessing the implications of allocation // *Energy*, N 31, 2006, P. 3362 – 3380.

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

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 // *Applied Energy*, – February 2014, vol. 114, P. 737 – 748.

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.

**ENERGY AND ECOLOGY ANALYSIS OF BIOENERGY TECHNOLOGIES. PART 1.**

**Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drozdova O.I.**

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

The paper covers the issue of energy efficiency of bioenergy production for different technologies and different types of biomass. Detailed analysis of studies on energy efficiency of bioenergy technologies based on the life cycle assessment is performed. The comparison of different bioenergy technologies by energy yield coefficient is presented. It is shown that thermal energy production from different types of biomass has high rate of energy efficiency. For all examined boiler installations energy yield coefficient  $EYC_{NR} > 2$  (i.e., higher than the minimum allowable value), and most of them have  $EYC_{NR} > 5$  that corresponds to the recommended ranges. Combined heat and power production from solid biomass also has high energy efficiency, for all considered cases  $EYC_{NR} > 5$ . Production of electricity from solid biomass has lower energy efficiency;  $EYC_{NR}$  is close or less than 2 depending on the type of biomass and other conditions.

**Key words:** biomass, bioenergy technologies, energy analysis, energy yield coefficient, life cycle assessment.

1. *Directive 2009/28/EC* of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.

2. *Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine* "On the Action Plan for implementation in 2013 the State program of adaptation of Ukraine's legislation to the EU" (№ 157-p of 25.03.2013). (Ukr.)

3. *Thomas Nussbaumer, Michael Oser*. Evaluation of biomass combustion based energy sys-

tems by cumulative energy demand and energy yield coefficient. Report for International Energy Agency and Swiss Federal Office of Energy, 2004

4. *DSTU ISO 14040:2004* Environmental protection. Life cycle assessment. Principles and framework. (18014040:1997, IDT). (Ukr.)

5. *Francesco Cherubini, Anders Hammer Stromman*. Life cycle assessment of bioenergy systems: State of the art and future challenges // *Bioresource Technology*, N 102, 2011, P. 437 – 451.

6. *Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drozdova O.I.* Complex Analysis of Energy Production Technologies from Solid Biomass in Ukraine. Part 1. Straw // *Industrial Heat Engineering*. – 2013, V. 35, № 3, P. 56 – 63. (Ukr.)

7. *Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drozdova O.I.* Complex Analysis of Energy Production Technologies from Solid Biomass in Ukraine. Part 2. Wood // *Industrial Heat Engineering*. – 2013, V. 35, № 4, P. 56 – 62. (Ukr.)

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.

9. *Bilodid V.D., Tarasenko P.V.* Some calculations on the energy efficiency of biofuels // *Problems of General Energy*. – 2008, №18, P. 34 – 39. (Rus.)

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 // *Biomass and bioenergy*, N 38, 2012, P. 95 – 101.

14. *Daniela Dressler, Achim Loewen, 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

15. *Energy analysis of modern biogas facilities* focused on large-scale use in Ukraine. Report on the second phase of a comprehensive target research program of NAS of Ukraine "Biomass as a fuel", 2008. Prepared by the Institute of General Energy of NAS of Ukraine. (Ukr.)

16. *Neil Bird, Annette Cowie, Francesco Cherubini, Gerfried Jungmeier*. Using a Life Cycle Assessment approach to estimate the net greenhouse gas emissions of bioenergy. Report on IEA Bioenergy Task 38.

17. *J. Malca, F. Freire*. Renewability and 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.

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

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 // *Applied Energy*, – February 2014, vol. 114, P. 737 – 748.

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.

*Получено 21.05.2014*

*Received 21.05.2014*