

УДК 536.24+662.995

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫРАЩИВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КУЛЬТУР В УКРАИНЕ. ЧАСТЬ 2

Гелетуха Г.Г., канд. техн. наук, Железная Т.А., канд. техн. наук, Трибой А.В.

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

Розглянуто паливні характеристики енергетичних культур. Проаналізовано недоліки енергокультур як палива, запропоновано шляхи пом'якшення їх негативного впливу. Розглянуто сучасний стан та перспективи розвитку даного сектору в Україні. Запропоновано концепцію вирощування енергетичних культур в Україні.

Рассмотрены топливные характеристики энергетических культур. Проанализированы недостатки энергокультур как топлива, предложены пути смягчения их негативного влияния. Рассмотрено современное состояние и перспективы развития данного сектора в Украине. Предложена концепция выращивания энергетических культур в Украине.

Fuel properties of energy crops are considered in the paper. Disadvantages of energy crops as a fuel are analyzed and possible ways for mitigation of their negative influence are suggested. The paper covers state of the art and prospects for the development of the sector in Ukraine. A conception for growing energy crops in the country is suggested.

Бібл. 13, рис. 5.

Ключевые слова: энергетические культуры, энергетические плантации, биомасса, биотопливо, биоэнергетика.

Топливные характеристики энергетических культур

Энергетические культуры используются для получения твердых, жидких и газообразных биотоплив. В данной статье рассматриваются культуры, предназначенные для производства твердых биотоплив – щепы, гранул, брикетов. Топливные характеристики нескольких таких культур представлены в таблице 1. Для сравнения в таблицу также включены данные для соломы зерновых культур и щепы лесной древесины.

Анализ данных таблицы показывает, что характеристики ивы и тополя в целом близки к показателям древесной щепы. Основное отличие – большее содержание азота, что, по-видимому, связано с применением удобрений при выращивании этих культур. Мискантус характеризуется повышенной зольностью, примерно такой, как у соломы. Все рассмотренные энергокультуры имеют достаточно высокую температуру плавления золы, что выгодно отличает их от соломы.

Ниже кратко представлены результаты нескольких работ, посвященных изучению топливных характеристик ряда энергетических культур.

В работе [1] на лабораторном оборудовании выполнено детальное исследование топливных свойств 6 генотипов биомассы ивы с точки зрения возможности их совместного сжигания с углем на электростанциях Великобритании. Отмечено, что положительным свойством ивы как топлива, является сравнительно небольшое содержание золы и азота. Применение удобрений при выращивании культуры должно быть оптимальным, так как оно оказывает влияние на элементный состав биомассы. Например, совместное использование азотных и калийных удобрений приводит к увеличению содержания углерода, что, в свою очередь, положительно влияет на калорийность биомассы. С другой стороны, использование этих же удобрений влияет на содержание азота и калия в иве, что может привести к росту выбросов оксидов азота при сжигании и снижению температуры плавления золы за счет большого количества в ней оксида калия K_2O . Из шести изученных генотипов ивы 5 показали высокую температуру плавления золы (> 1500 °C) и низкую тенденцию к ошлакованию элементов энергетического оборудования.

Табл. 1. Топливные характеристики энергетических культур и других биотоплив [1-10]

Показатели	Мискантус	Ива	Тополь	Солома зерновых культур (для сравнения)	Древесная щепа (для сравнения)
Влажность при сборе, %	15...23	50...53	50...55	15...20	40
$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$, МДж/кг (сух. мас.)	17...19,5	18,5	18,7	~18	~19
Содержание летучих веществ, %	> 78	79	83	> 70	> 70
Зольность, %	2,3...3,7	1,5...2	0,5...1,9	3...4	0,6...1,5
<i>Элементный состав, %:</i>					
C	46,97	50,28	47,95	42...43	50
H	5,57	5,98	5,92	5	6
O	45,82	42,65	45,29	37...38	43
Cl	0,04	0,02...0,03	0,03...0,04	0,2...0,75	0,02
K*	0,46 %	123,3 г/кг золы	0,21	0,2...0,98 %	0,13...0,35 %
N*	0,16...0,57	0,4...1,0	0,77...0,9	0,35...0,41	0,3
S	0,28	0,03...0,34	0,03...0,2	0,13...0,16	0,05
Температура плавления золы, °C	1250...1385	> 1500	1200...1500	950...1000	1000...1400

*Содержание зависит от объема вноса удобрений

Изучение элементного и биохимического состава образцов ивы показало, что генотип с наивысшим содержанием лигнина (27,1 %) имеет наибольшую зольность (2,9...3,2 %). И наоборот, генотип с наименьшим содержанием лигнина (15,5 %) имеет минимальную зольность (1,1...1,4 %). Наибольшую теплоту сгорания имеют генотипы с высоким содержанием углерода и малым содержанием кислорода. В целом, в работе [1] сделан вывод о хороших топливных характеристиках биомассы ивы (за исключением одного генотипа) и перспективности выращивания и использования этого вида биотоплива.

Авторы [2] исследовали топливные характеристики четырех многолетних травянистых энергетических культур – мискантуса, проса прутьевидного, арундо тростникового, артишока испанского в сравнении с «эталонным» топливом – древесными гранулами австрийского производства. По сравнению с древесиной, исследованные многолетние энергокультуры имеют гораздо большую зольность, из них наименьшая – у мискантуса

(2,3 % сух. мас.). Повышенная зольность объясняется метаболизмом быстрого роста (накапливание питательных веществ) и отличной от древесины органической структурой (SiO_2 -фитолиты). Кроме того, на зольность большое влияние оказывает сезон сбора урожая и применяемая технология сбора. Как правило, основными элементами, формирующими золу, являются (в порядке уменьшения значимости) Si, K, Ca, Cl, S. У мискантуса по сравнению с другими культурами содержание Si, K, Ca наименьшее.

Кроме того, исследованные энергокультуры (кроме проса прутьевидного) по сравнению с древесными гранулами характеризуются повышенной потенциальной способностью вызывать коррозию элементов энергооборудования, что отражается показателем $\text{Cl/S} > 1$. Формирование свободного газообразного хлора при сульфатации щелочных или тяжелых металлов в отложениях на трубах котла приводит к явлению коррозии. Особенно неблагоприятным является сочетание $\text{Cl/S} > 1$ при высоком содержании Ca (как у ар-

тишока испанского). Для древесных гранул отношение $Cl/S < 1$. Также энергетические культуры имеют более высокое содержание азота, чем лесная древесина, что приводит к большим выбросам NO_x при горении. Наблюдается тенденция к ошлаковыванию элементов оборудования.

Несмотря на недостатки биотоплива из энергетических культур в сравнении с древесными гранулами, в целом они являются неплохим

топливом, требующим тщательного подхода к использованию. Во многих случаях эти биотоплива могут удовлетворять существующим нормам по выбросам загрязняющих веществ (если только они не являются необоснованно завышенными). Так, например, из данных таблицы 2 видно, что показатели горения щепы мискантуса полностью находятся в пределах австрийских лимитов для эмиссии твердых частиц, оксидов азота и CO .

Табл. 2. Средние показатели эмиссии при горении биотоплива из энергетических культур, mg/nm^3 (13 % O_2 , сух. мас.) [2]

Загрязняющие вещества	Просо прутьевидное	Арундо тростниковый	Мискантус	Древесные гранулы (для сравнения)	Австрийские нормы по выбросам для установок 100...350 кВт
Твердые частицы, всего, в т.ч $< 1 \mu m$ (аэрозоли)	58 50	102 67	27 16	21 16	150
NO_x	368	363	187	106	350*/250**
HCl	18	67	59	3	
SO_2	91	278	53	3	
CO	145	443	55	1	250

* Для химически необработанных древесных отходов

** Для лесной древесины

Для решения проблемы ошлаковывания поверхностей котла при сжигании энергетических культур авторы [2] предлагают снижать температуру горения путем использования охлаждаемых решеток и стенок топки. Другой подход может заключаться в предварительной обработке биомассы – выщелачивание (для удаления проблематичных химических элементов) или добавлении извести для повышения температуры плавления шлаковых отложений. Еще один возможный метод – совместное сжигание энергокультур с древесиной, в результате чего снизится эмиссия HCl, SO_2 , NO_x и твердых частиц.

В работе [3] изучены характеристики горения биомассы нескольких энергетических культур, в том числе ивы, тополя, мискантуса. В основном полученные результаты совпадают с выводами приведенных выше исследований. Ива имеет высокую температуру плавления золы ($> 1500^\circ C$) и наименьшие проблемы с ошлакованием поверхностей энергооборудования. Зольность мисканту-

са (6,7 %) заметно выше зольности ивы (1,9 %) и тополя (1,7 %). Это же относится и к содержанию азота. Наихудшие топливные свойства из рассмотренных культур имеет артишок испанский. В отличие от работы [2] авторы [3] считают, что при сжигании энергетических культур (кроме артишока испанского) не будет возникать серьезных проблем с коррозией элементов энергооборудования, поскольку содержание хлора в этих культурах низкое ($< 0,1 \%$).

Выращивание энергетических культур в Украине

На сегодня в Украине есть несколько компаний, занимающихся выращиванием энергетических культур на коммерческом уровне. Еще ряд компаний планируют в ближайшее время выйти на этот рынок. Некоторые из них кратко описаны ниже.

Компания “Salix Energy”, основанная в 2010 году, имеет наибольшие в Украине плантации энергетической ивы (*Salix Viminalis*), располо-

женные в Волынской и Львовской областях (> 1500 га). Разводятся 6 сортов ивы, в том числе польские, шведские. В 2013 г. компания зарегистрировала свой собственный сорт «Марцияна» (единственный официально зарегистрированный в Украине). На 2014-2015 гг. имеются планы по расширению плантаций ивы до 2,5...3 тыс. га и началу промышленного сбора урожая. «Salix Energy» планирует собирать щепу из энергетической ивы для производства тепловой и электрической энергии на территории Украины [11].

Компания «Phytofuels» выращивает целый ряд энергетических культур (просо прутьевидное, мискантус, ива, сорго сахарное и др.) на площади более 35 тыс. га в Полтавской области. Брикетты и гранулы, произведенные из этих культур, «Phytofuels» поставляет отечественным и зарубежным потребителям. В научных вопросах компания тесно сотрудничает с Институтом биомассы и устойчивого развития (г. Полтава) и Университетом Вагенингена (Нидерланды).

Агрохолдинг KSG Agro, владеющий 65 тыс. га земель в Днепропетровской области, развивает новое направление своего бизнеса – выращивание мискантуса. В 2013 году на 33 га агрохолдинга успешно взошли маточные плантации культуры. На 2014 г. запланирована высадка еще 400 га мискантуса, а еще через год общая площадь под эту энергокультуру должна достичь более 2000 га. Биомасса мискантуса будет использоваться для производства твердого биотоплива.

ООО «Аграрное Содружество» в 2011 г. приступило к реализации проекта по выращиванию энергетической ивы (*Salix viminalis*) и производству топливных гранул из нее. Земельный фонд проекта – 2000 га, расчетная производственная мощность завода – 24 тыс. т/год.

В Украине также проводится широкая научно-исследовательская работа, посвященная энергетическим культурам. Большой вклад в это направление вносит Институт биоэнергетических культур и сахарной свеклы Национальной академии аграрных наук Украины. Так, например, в Институте ведется работа по изучению генофонда ивы рода *Salix L.* различно-

го эколого-географического происхождения по характеристикам продуктивности, пригодности к механизированному уходу и сбору, энергетической ценности. На опытном участке Института высажено 11 видов и 3 гибрида *Salix L.* [12]. Исследуются вопросы урожайности сахарного сорго, мискантуса и других культур. Подготовлен Атлас высокопродуктивных биоэнергетических культур [13].

Несмотря на довольно активное развитие в последние годы выращивания энергетических культур в Украине, существует ряд проблем, требующих разрешения. Одна из них – отсутствие энергокультур в классификаторе сельскохозяйственных культур. На сегодня энергетическая ива включена в классификатор как техническая культура, тогда как мискантуса и других энергокультур там нет вообще. Это может создать юридические и другие проблемы на определенном этапе хозяйственной деятельности производителей этих культур. Кроме того, случается, что производители энергокультур сталкиваются с необходимостью уплаты НДС при оформлении своих отношений с инвестором, тогда как они еще не произвели никакой продукции. Это связано с тем, что продукцией считаются саженцы, выращенные самой компанией для использования на своих же плантациях. Еще одна проблема заключается в том, что производитель энергокультур не считается «сельхозпроизводителем» и не имеет соответствующих льгот (например, по аренде техники), пока он не произвел первую продажу своего урожая. Учитывая, что урожай ивы и тополя собирается каждые 3-4 года, период до первой продажи является достаточно длительным.

Для ускорения развития данного сектора в Украине специалисты Института технической теплофизики НАН Украины считают необходимым внедрить механизмы государственного стимулирования выращивания энергетических культур. Один из предлагаемых механизмов – субсидирование энергоплантаций на уровне 10 тыс. грн./га. Другим инструментом может быть частичное покрытие государством процентных ставок коммерческих банков. Рекомендуются предусмотреть соответствующее финансирование из Госбюджета Украины в

2015-2017 гг.

По оценкам специалистов ИТТФ НАН Украины в стране имеется 3...4 млн. га неиспользуемых сельскохозяйственных земель (по данным 2012 г. – 3,5 млн. га), которые можно задействовать для выращивания энергетических

культур. Рекомендуется для этого направления использовать до 2 млн. га, разделив их (согласно одному из возможных сценариев) между кукурузой на биогаз (1 млн. га), ивой (0,5 млн. га), тополем (0,2 млн. га) и мискантусом (0,3 млн. га). Реализация такого сценария даст возможность

Табл. 3. Концепция ИТТФ НАН Украины для выращивания энергетических культур в Украине

Показатели	2014 г.	2020 г.	2030 г.
Площадь под энергетическими культурами (коммерческие плантации), всего, тыс. га	3	200	1000
<i>Структура площадей по культурам, тыс. га:</i>			
- ива	2	50	250
- мискантус	~0	30	150
- тополь	~0	20	100
- кукуруза (на биогаз)	1	100	500
Урожай энергетических культур (всего), млн. т у.т./год	0,017	1,00	4,98
<i>Структура урожая по культурам, млн. т у.т./год:</i>			
- ива	0,013	0,33	1,66
- мискантус	~0	0,19	0,94
- тополь	~0	0,11	0,54
- кукуруза (на биогаз)	0,004	0,37	1,84
<i>Показатели, используемые в концепции</i>			
Распределение общей площади под энергокультурами, %			
- ива	25		
- мискантус	15		
- тополь	10		
- кукуруза (на биогаз)	50		
Урожайность*, сух. т/га в год:			
- ива	12		
- мискантус	12		
- тополь	9,5		
- кукуруза на биогаз (свежая масса)	30		
Теплота сгорания (сухой массы), МДж/кг:			
- ива	18		
- мискантус	17		
- тополь	18,5		
- кукуруза на биогаз	выход CH ₄ : 100 м ³ /т силоса* содержание CH ₄ в биогазе: 60 %		

* Консервативный подход

ежегодно получать около 3,3 млрд. м³ биомассы ивы, тополя и мискантуса. биомассы ивы, тополя и мискантуса.
тана из силоса кукурузы и 6,3 млн. т у.т. за счет

Табл. 4. Техничко-экономические показатели выращивания энергетического тополя в Украине на плантации с 2-х летним оборотом (расчет на 1 га)

Показатели	Без субсидий	С субсидией 620 евро/га на создание плантации
Посадка (покупка саженцев – 6000 шт./га, подготовка почвы), евро/га	1191	571
<i>Первый цикл плантации (года 1...2):</i>		
- уход за плантацией (культивация, боронование, полив), евро/га		306
- сбор урожая и доставка биомассы потребителю*, евро/га		335
- урожайность**, т/га		40
- отпускная цена биомассы, евро/т		25 (400 грн./т)
- доход от продажи биомассы, евро/га		994
<i>Возврат инвестиций после 1-го сбора урожая (суммарный доход/суммарные затраты)</i>	0,54	0,82
<i>Второй цикл плантации (года 3...4):</i>		
- уход за плантацией (боронование, полив, применение пестицидов), евро/га		265
- сбор урожая и доставка биомассы потребителю, евро/га		353
- урожайность, т/га		42
- отпускная цена биомассы, евро/т		25 (400 грн./т)
- доход от продажи биомассы, евро/га		1049
<i>Возврат инвестиций после 2-го сбора урожая (суммарный доход/суммарные затраты)</i>	0,83	1,12
<i>Циклы 3...7 (года 5...14):</i>		
- уход за плантацией, евро/га		1323
- сбор урожая и доставка биомассы потребителю, евро/га		1766
- урожайность, т/га		42
- отпускная цена биомассы, евро/т		25 (400 грн./т)
- доход от продажи биомассы, евро/га		5245
- ликвидация плантации, евро/га		100
<i>Весь период существования плантации (14 лет):</i>		
- средняя урожайность за год, т/га	27	27
- суммарные затраты, евро/га	5639	5019
- суммарный доход, евро/га	7288	7288
- общая прибыль (разность дохода и затрат), евро/га	1649	2269
- суммарный доход/суммарные затраты	1,29	1,45

* Здесь и далее в таблице – доставка в радиусе 30 км

** Здесь и далее в таблице – биомасса с влажностью при сборе (W 55 %)

С учетом разработанных ИТТФ концепций развития различных секторов биоэнергетики, считаем, что общая площадь для выращивания энергетических культур в Украине может составить около 200 тыс. га в 2020 г. и до 1 млн. га в 2030 г. (табл. 3). Соответственно, урожай этих культур будет эквивалентен 1 млн. т у.т. в 2020 г. и около 5 млн. т у.т. в 2030 г.

Важным вопросом являются экономические показатели выращивания энергокультур, такие как удельные затраты на создание плантации и уход за ней, доход от реализации урожая, период возврата инвестиций и другие. Результаты предварительного технико-экономического обоснования выращивания энергетического тополя с 2-х летним циклом сбора урожая в Украине представлены в таблице 4.

Из данных таблицы видно, что при отпускной цене биомассы 400 грн./т возврат инвестиций (то есть отношение суммарного дохода к суммарным затратам) составляет после 1-го сбора урожая 0,54, после 2-го сбора урожая – 0,83, за весь срок существования плантации (14 лет, 7 циклов) – 1,29. Это означает, что простой срок окупаемости проекта по выращиванию тополя составляет около 6 лет. При наличии государственной субсидии на создание плантации тополя в размере 10 тыс. грн./га (620 евро/га) возврат инвестиций после 1-го цикла составит 82 %, после второго – 112 %, за весь срок существования плантации – 145 %. То есть в данном случае простой срок окупаемости проекта – до 4 лет. Для окупаемости плантации после 2-го сбора и продажи урожая (т.е. в течение 4-х лет), цена биомассы должна составлять около 480 грн./т при отсутствии субсидий и 360 грн./т при наличии субсидии в 10 тыс. грн./га (620 евро/га).

Оценка необходимой величины субсидий из Госбюджета Украины на выращивание энергокультур выполнена на примере ивы для 2014-2016 гг., исходя из прогнозируемого объема замещения природного газа биомассой при производстве тепловой энергии – 250 млн. м³ (2014 г.), 500 млн. м³ (2015 г.), 1 млрд. м³ (2016 г.). Результаты показывают, что если энергетические культуры составляют 20 % всего объема ис-

пользуемой биомассы, то общая сумма необходимой субсидии на энергоплантации – 84...338 млн. грн./год (табл. 5). При этом доля субсидии от стоимости природного газа, замещаемого энергокультурами, составляет 38 %.

Выводы

Несмотря на ряд недостатков биотоплива из энергетических культур в сравнении с древесными гранулами, в целом энергокультуры являются неплохим топливом, требующим тщательного подхода к использованию. Во многих случаях эти биотоплива могут удовлетворять существующим нормам по выбросам загрязняющих веществ (если только они не являются необоснованно завышенными).

На сегодня в Украине есть несколько компаний, занимающихся выращиванием энергетических культур на коммерческом уровне. Еще ряд компаний планируют в ближайшее время выйти на этот рынок. Для ускорения развития данного сектора в Украине специалисты ИТТФ НАН Украины считают необходимым внедрить механизмы государственного стимулирования выращивания энергетических культур. Один из предлагаемых механизмов – субсидирование энергоплантаций на уровне 10 тыс. грн./га. Другим инструментом может быть частичное покрытие государством процентных ставок коммерческих банков. Рекомендуется предусмотреть соответствующее финансирование из Госбюджета Украины в 2015-2017 гг.

По оценкам ИТТФ, в Украине имеется 3...4 млн. га неиспользуемых сельскохозяйственных земель, которые можно задействовать для выращивания энергетических культур. Рекомендуется для этого направления использовать до 2 млн. га, разделив их (согласно одному из возможных сценариев) между кукурузой на биогаз (1 млн. га), ивой (0,5 млн. га), тополем (0,2 млн. га) и мискантусом (0,3 млн. га). Реализация такого сценария даст возможность ежегодно получать около 3,3 млрд. м³ биометана из силоса кукурузы и 6,3 млн. т у.т. за счет биомассы ивы, тополя и мискантуса.

Согласно концепции ИТТФ, общая площадь для выращивания энергетических культур в Украине может составить около 200 тыс. га

в 2020 г. и до 1 млн. га в 2030 г. Соответственно, урожай этих культур будет эквивалентен 1 млн. т у.т. в 2020 г. и около 5 млн. т у.т. в 2030 г.

Оценка необходимой величины субсидий из Госбюджета Украины на выращивание энергокультур выполнена на примере ивы для 2014-2016 гг., исходя из прогнозируемого объема замещения природного газа биомассой при производстве тепловой энергии –

250 млн. м³ (2014 г.), 500 млн. м³ (2015 г.), 1 млрд. м³ (2016 г.). Результаты показывают, что если энергетические культуры составляют 20 % всего объема используемой биомассы, то общая сумма необходимой субсидии на энергоплантации – 84...338 млн. грн./год. При этом доля субсидии от стоимости природного газа, замещаемого энергокультурами, составляет 38 %.

Табл. 5. Расчет необходимой субсидии из Госбюджета Украины на выращивание энергетических культур (на примере ивы)

Показатели	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Прогнозируемый объем замещения природного газа биотопливом, млн. м ³	250	500	1000
Калорийность биотоплива (щепа) (при W 40 %), МДж/кг	10	10	10
Период эксплуатации котельной, суток	185	185	185
Потребность в биотопливе (при W 40 %), тыс. т	844	1688	3375
Доля энергокультур (ива) в общем объеме используемого биотоплива, %	20	20	20
Урожайность ивы (влажная масса), т/га/год	20	20	20
Необходимая площадь плантации ивы, тыс. га	8,4	16,9	33,8
Необходимая дотация из Госбюджета Украины на создание энергоплантаций,	тыс. грн./га млн. грн.	10 168,8	10 337,5
Стоимость замещаемого энергетической ивой природного газа (при цене 380 \$/1000 м ³), млн. грн.	225	450	900
Доля необходимой субсидии на энергокультуры от стоимости природного газа, замещаемого ивой	38 %	38 %	38 %

W – влажность (по массе)

ЛИТЕРАТУРА

1. *B.A. Gudka*. Combustion characteristics of some imported feedstocks and short rotation coppice (SRC) willow for UK power stations, 2012

http://etheses.whiterose.ac.uk/3352/1/Combustion_Characteristics_of_some_Imported_Feedstocks_and_SRC_willow_for_UK_power_stations.pdf

2. *J. Dahl, I. Obernberger*. Evaluation of the combustion characteristics of four perennial energy crops (*Arundo Donax*, *Cynara Cardunculus*, *Miscanthus x Giganteus* and *Panicum Virgatum*). Proc. of 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May

2004, Rome, Italy, P. 1265 – 1270

3. *E. Karampinis, D. Vamvuka, S. Sfakiotakis et al.* Comparative Study of Combustion Properties of Five Energy Crops and Greek Lignite // *Energy & Fuels*, 2012, N 26(2), P. 869 – 878.

http://www.researchgate.net/publication/224437353_A_Comparative_Study_of_Combustion_Properties_of_Five_Energy_Crops_and_Greek_Lignite

4. *Energy from field energy crops – a handbook for energy producers*. AEBIOM, 2009

<http://www.aebiom.org/wp-content/uploads/file/Publications/Handbook%20for%20energy%20>

producers.pdf

5. *L. Nikolaisen, C. Nielsen, M.G. Larsen et al.* Straw for energy production. Technology – Environment – Economy. The Centre for Biomass Technology, Denmark. 1998.

6. *K. Suadicani, A. Evald, H. H. Jakobsen.* Wood chips for energy production. Technology – Environment – Economy. The Centre for Biomass Technology, Denmark. 1993.

7. *Блюм Я.Б., Гелетуха Г.Г., Григорюк И.П. и др.* Новейшие технологии биоэнергоконверсии. – К: «Аграр Медиа Групп», 2010. – 326 с.

8. *New dedicated energy crops for solid biofuels.* AEBIOM, FP6 RESTMAC project, 2008

http://www.aebiom.org/IMG/pdf/Dedicated_energy_crops_for_solid_biofuels_2008_January.pdf

9. *M. Wachendorf.* Thermal use of agricultural biomass. BOVA course “Energy Crops and Biogas Production, 3-7 March 2008, Tartu, Estonia

http://www.bioenergybaltic.ee/bw_client_files/bioenergybaltic/public/img/File/BOVA/

[Wachendorf_thermal_use_of_agricultural_biomass.pdf](#)

10. *T. van der Sluis, R. Poppens, P. Kraaijeveld et al.* Reed harvesting from wetlands for bioenergy. Alterra report 2460, 2013

http://www.switchgrass.nl/upload_mm/a/5/9/99e205b9-c2ea-4274-a1f8-8e94047094e0_Reed%20report%20Pellets%20for%20Power%202460%20October%202013.pdf

11. *Гнап И.В.* Выращивание энергетической вербы на Волыни: результаты за первые 3 года. Презентация на семинаре “GREENEXPO. Альтернативная энергетика», 18 октября 2013 г., Киев.

12. *Роїк М.В., Гуменник М.Я., Мамайсур В.В.* Перспективи вирощування енергетичної верби для виробництва твердого біопалива // Біоенергетика, № 2, 2013, С. 18 – 19.

13. *Гуменник М.Я.* Атлас високопродуктивних біоенергетичних культур // Біоенергетика, № 2, 2013, С. 6 – 7.

PROSPECTS FOR GROWING AND USE OF ENERGY CROPS IN UKRAINE. PART 2

Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Tryboi O.V.

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

Fuel properties of energy crops are considered in the paper. Disadvantages of energy crops as a fuel are analyzed and possible ways for mitigation of their negative influence are suggested. It is shown that despite some disadvantages of energy crops as compared to wood pellets, on the whole they are a good fuel, which requires well thought-out approach to its use. In many cases the biofuels can meet existing emission limits (unless they are unduly strict). The paper also covers state of the art and prospects for the development of the sector in Ukraine. A conception for growing energy crops in the country is suggested. To push development of the sector in the Ukraine the authors consider it necessary to introduce state support for growing energy crops. One of the possible mechanisms is a subsidy for creation of energy crop plantation; another instrument may be partial covering commercial rate interest by the state. References 13, table 5.

Key words: energy crops, energy plantations, biomass, biofuels, bioenergy.

1. *B.A. Gudka*. Combustion characteristics of some imported feedstocks and short rotation coppice (SRC) willow for UK power stations, 2012

http://etheses.whiterose.ac.uk/3352/1/Combustion_Characteristics_of_some_Imported_Feedstocks_and_SRC_willow_for_UK_power_stations.pdf

2. *J. Dahl, I. Obernberger*. Evaluation of the combustion characteristics of four perennial energy crops (*Arundo Donax*, *Cynara Cardunculus*, *Miscanthus x Giganteus* and *Panicum Virgatum*). Proc. of 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy, p. 1265-1270

3. *E. Karampinis, D. Vamvuka, S. Sfakiotakis et al.* Comparative Study of Combustion Properties of Five Energy Crops and Greek Lignite // *Energy & Fuels*, 2012, N 26(2), p. 869–878.

http://www.researchgate.net/publication/224437353_A_Comparative_Study_of_Combustion_Properties_of_Five_Energy_Crops_and_Greek_Lignite

4. *Energy from field energy crops – a handbook for energy producers*. AEBIOM, 2009

<http://www.aebiom.org/wp-content/uploads/file/Publications/Handbook%20for%20energy%20producers.pdf>

5. *L. Nikolaisen, C. Nielsen, M.G. Larsen et al.* Straw for energy production. Technology – Environment – Economy. The Centre for Biomass Technology, Denmark. 1998.

6. *K. Suadicani, A. Evald, H. H. Jakobsen*. Wood chips for energy production. Technology – Environment – Economy. The Centre for Biomass Technology, Denmark. 1993.

7. *Blum Ya.B., Geletukha G.G., Grygoriuk I.P. et al.* Modern technologies for bioenergy conversion. – K: “Agrar Media Group”, 2010. – 326 p. (Ukr.)

8. *New dedicated energy crops for solid biofuels*. AEBIOM, FP6 RESTMAC project, 2008

http://www.aebiom.org/IMG/pdf/Dedicated_energy_crops_for_solid_biofuels_2008_January.pdf

9. *M. Wachendorf*. Thermal use of agricultural biomass. BOVA course “Energy Crops and Biogas Production, 3-7 March 2008, Tartu, Estonia

http://www.bioenergybaltic.ee/bw_client_files/bioenergybaltic/public/img/File/BOVA/Wachendorf_thermal_use_of_agricultural_biomass.pdf

10. *T. van der Sluis, R. Poppens, P. Kraaisvitnii et al.* Reed harvesting from wetlands for bioenergy. Alterra report 2460, 2013

http://www.switchgrass.nl/upload_mm/a/5/9/99e205b9-c2ea-4274-a1f8-8e94047094e0_Reed%20report%20Pellets%20for%20Power%202460%20October%202013.pdf

11. *Gnap I.V.* Growing willow for energy at Volyn: results of the first 3 years. Presentation at the seminar “GREENEXPO. Alternative energy», 18 October 2013, Kyiv. (Ukr.)

12. *Roik M.V., Gumentik M.Ya., Mamaysur V.V.* Prospects for the cultivation of energy willow for solid biofuel production // *Bioenergy*, № 2, 2013, p. 18-19. (Ukr.)

13. *Gumentik M.Ya.* Atlas of the high-productive energy crops // *Bioenergy*, № 2, 2013, p. 6-7. (Ukr.)

Получено 24.10.2014

Received 24.10.2014