



ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫРАЩИВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КУЛЬТУР В УКРАИНЕ

Аналитическая записка БАУ №10

Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Трибой А.В.

12 сентября 2014 г.

Обсуждение в БАУ: с 05.09.2014 по 12.09.2014
Утверждение Правлением БАУ и публикация на www.uabio.org: 12.09.2014
Публикация доступна на: www.uabio.org/activity/uabio-analytics
Для отзывов и комментариев: geletukha@uabio.org

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают искреннюю благодарность *Гнан Ирине Васильевне* за помощь в написании раздела по выращиванию энергетической ивы. Это существенно улучшило качество финального варианта Аналитической записки.

Содержание

Введение.....	4
Выращивание энергетических культур в ЕС.....	4
Механизмы регулирования и стимулирования выращивания энергетических культур в ЕС....	6
Особенности выращивания энергетических культур.....	9
<i>Ива (Salix spp.)</i>	10
<i>Тополь (Populus spp.)</i>	13
<i>Мискантус (Miscanthus spp.)</i>	15
Топливные характеристики энергетических культур.....	16
Выращивание энергетических культур в Украине.....	23
Выводы.....	28
ЛИТЕРАТУРА.....	30
<i>Условные обозначения</i>	32
<i>Предыдущие публикации БАУ</i>	33

Введение

Аналитическая записка № 10 Биоэнергетической ассоциации Украины посвящена вопросам выращивания и использования энергетических культур и перспективам развития этого направления биоэнергетики в Украине. Проанализировано состояние данного сектора в Европейском Союзе, в том числе существующие механизмы поддержки. Рассмотрены особенности выращивания некоторых энергетических культур и их топливные характеристики. Предложены механизмы стимулирования развития данного сектора в Украине.

Выращивание энергетических культур в ЕС

Энергетические культуры – это растения, которые специально выращиваются для использования непосредственно в качестве топлива либо для производства биотоплива. На сегодняшний день в мире не существует единой общепринятой классификации, применяемой для таких культур. Энергетические культуры различают по следующим категориям (в скобках указаны соответствующие примеры):

- *цикл выращивания* – однолетние (рапс, подсолнечник) и многолетние (ива, тополь);
- *тип* – древовидные¹ (ива, тополь), травянистые (мискантус², просо прутьевидное³);
- *характеристики* и, соответственно, получаемый конечный продукт – масличные (рапс/подсолнечник на биодизель), крахмало- и сахаросодержащие (сахарная свекла/кукуруза на биоэтанол), лигноцеллюлозные (ива/тополь для непосредственного производства тепловой и электрической энергии, производства твердых биотоплив или получения жидких биотоплив 2-го поколения);
- *«происхождение»* – классические культуры, т.е. изначально предназначенные сугубо для энергетических целей (мискантус, двухкосточник тростниковидный) и обычные сельскохозяйственные культуры, выращиваемые как для получения пищевых продуктов, так и с целью производства биотоплив (рапс на биодизель, сахарная свекла на биоэтанол, кукуруза на биогаз).

Энергетические культуры являются важной составляющей биоэнергетического сектора ЕС. Европейская биоэнергетическая ассоциация (АЕБИОМ) оценивает сегодняшний потенциал энергетических культур в Евросоюзе на уровне **44-47** млн. т н.э./год [1]. Одна из целей ЕС на 2020 год – достичь **138** млн. т н.э. биомассы в валовом конечном энергопотреблении, что соответствует 14% ВКЭ [7]. Имеющийся потенциал энергетических культур позволяет покрыть около трети этой цели.

По данным 2011 г., общая площадь под лигноцеллюлозными энергокультурами в ЕС составляет порядка **130-140** тыс. га (**Таблица 1**) [7]. Около 37% этой площади (50 тыс. га) приходится на Румынию, где выращивается просо прутьевидное. Значительные площади задействованы также в Финляндии под двухкосточник тростниковидный (около 19 тыс. га), в

¹ Как правило, это т.н. плантации с быстрым оборотом (SRC – short rotation coppice).

² Также называют «слоновья трава».

³ Также называют свичграс.

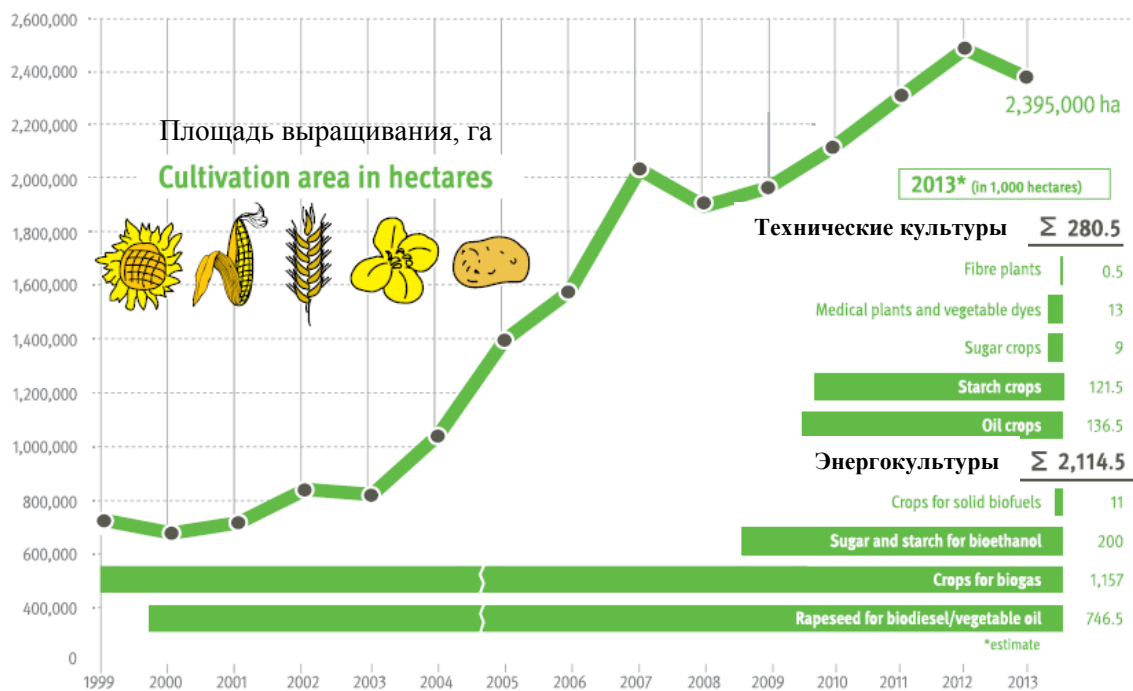
Великобритании – под мискантус (10-11 тыс. га), в Швеции и Польше – под иву (11 тыс. га и 5-9 тыс. га, соответственно).

Таблица 1. Площади под лигноцеллюлозными энергокультурами в ЕС (2011 г.), га [7]

Страны ЕС	Ива	Тополь	Мискантус	Просо прутьевидное	Двукосточник тростниковидный
Австрия	220-1100	880-1100	800		
Бельгия	60		100		
Великобритания	1500-2300		10000-11000		
Германия	4000	5000	2000		
Дания	5697	2807	64		19
Ирландия	930		2200		
Италия	670	5490	50-100		
Литва	550				
Нидерланды			90		
Польша	5000-9000	300			
Румыния				50000	
Швеция	11000	550	450		780
Финляндия					18700
Франция	2300		2000-3000		

Площади под энергокультурами, предназначенными для производства жидких биотоплив, в Европе на порядок больше – свыше **2,5** млн. га в целом по ЕС. В основном это зерновые культуры и рапс. Почти 38% этой площади приходится на Германию, где 746,5 тыс. га заняты рапсом (на биодизель) и 200 тыс. га – сахаро- и крахмалосодержащими культурами (на биоэтанол) (**Рис. 1**). На значительных площадях (1157 тыс. га) в этой стране также выращиваются культуры, которые являются сырьем для получения биогаза.

На сегодня в странах Евросоюза **13,2** млн. га земель доступны для выращивания энергокультур; к 2020 г. этот показатель может вырасти до **20,5** млн. га, а к 2030 г. – до **26,2** млн. га. По оценке Европейской Комиссии, для достижения цели 2020 года (10% ВИЭ в транспортном секторе ЕС) под энергетические культуры необходимо задействовать **17,5** млн. га или около 10% всех используемых сельскохозяйственных земель стран ЕС-27 [2].



Площадь выращивания, тыс. га: энергокультуры, всего – 2114,5, в том числе рапс на биодизель – 746,5, культуры на биогаз – 1157, сахаро- и крахмалосодержащие культуры – 200, культуры для производства твердых биотоплив – 11.

Рис. 1. Распределение земель под энергетическими и техническими культурами в Германии [44]

Механизмы регулирования и стимулирования выращивания энергетических культур в ЕС

На уровне Европейского Союза в целом выращивание энергетических культур регулируется с помощью трех механизмов [8]:

- сельскохозяйственной политики;
- энергетической политики;
- политики в области научных исследований и инноваций.

Сельскохозяйственная политика

В рамках второго основного направления Единой сельскохозяйственной политики (ЕСП) ЕС (CAP⁴) – «Программы развития сельских территорий» – в Евросоюзе предусмотрена инвестиционная поддержка для создания плантаций древесных и травяных энергетических культур (мискантуса, проса прутьевидного, двукисточника тростниковидного и др.). Конкретные суммы инвестиций в соответствующих документах не указываются, однако эксперты отмечают, что общий бюджет направления II ЕСП существенно меньше, чем бюджет направления I⁵. Следует отметить, что в рамках направления I ЕСП – «Поддержка фермерских хозяйств» – фермеры стран ЕС в 2003-2009 гг. получали субсидию на выращивание энергокультур в размере 45 евро/га. Субсидия была

⁴ CAP – Common Agricultural Policy

<http://www.dartmoorpreservation.com/the-uplands7/land-management/129-the-common-agricultural-policy->

⁵ Несколько цифр для сравнения. Бюджет направления II ЕСП в 2009 г. – 13,6 млрд. евро [40], на 2014-2020 гг. – около 85 млрд. евро [39]. Бюджет направления I ЕСП в 2009 г. – 41,1 млрд. евро [41], на 2014-2020 гг. – около 264 млрд. евро [42].

отменена в 2010 г., после чего некоторые страны Евросоюза внедрили собственные аналогичные механизмы стимулирования [38].

Кроме того, с 2013 г. Единая сельскохозяйственная политика ЕС обязывает фермеров, владеющих более 15 га пахотных земель, выделять не менее 5% соответствующих площадей для экологических нужд (к землям такого назначения относятся, например, чистые пары, буферные полосы, ландшафтные элементы, земли для лесонасаждения и др.). На этих экологически направленных землях фермеры могут выращивать многолетние энергетические культуры, но без применения пестицидов и химических удобрений. После подготовки Еврокомиссией отчета по данному вопросу в 2017 году доля земель, предназначенных для экологических нужд, может возрасти до 7%.

Энергетическая политика

Как известно, согласно Директиве по ВИЭ 2009/28/ЕС на 2020 г. Европейский Союз запланировал обеспечить 10% топлив на транспорте за счет ВИЭ. Выполнение этой цели предполагает использование сельскохозяйственных культур для получения жидких и газообразных биотоплив. При этом Европейская Комиссия озабочена тем, чтобы ограничить возможное негативное влияние непрямого изменения назначения землепользования, вызванного производством моторных биотоплив⁶. В связи с этим Еврокомиссия внесла предложение по ограничению вклада традиционных сельскохозяйственных культур в выполнение цели 2020 г. по ВИЭ на транспорте до 5%. Это предложение пока находится на рассмотрении Европейского парламента и Совета. В Европарламенте также обсуждается и другое сходное предложение – ограничить вклад всех энергокультур в достижение цели 2020 г. по по ВИЭ на транспорте до 6%. Ожидается, что финальное решение по данному вопросу будет иметь существенное влияние на сектор энергетических культур в ЕС.

Реализация политики ЕС в области научных исследований и инноваций включает Стратегический план энерготехнологий⁷ а также новую программу Еврокомиссии для научных и инновационных исследований Horizon 2020⁸ (2014-2020 гг.). Стратегический план энерготехнологий призван помочь Евросоюзу достичь его целей 2020 г. и 2050 г. в секторе энергетики. Одной из составляющих Плана является содействие производству и потреблению жидких биотоплив 2-го поколения. В рамках программы Horizon 2020 выделяется около 5,8 млрд. евро на исследование технологий, обеспечивающих надежную, эффективную и экологически чистую поставку энергии.

Помимо общеевропейских механизмов регулирования во многих странах ЕС существуют свои движущие силы и инструменты для стимулирования выращивания энергетических культур (**Таблица 2**). Типичными инструментами являются субсидия на гектар площади под энергокультурами и «зеленый» тариф (или аналогичный механизм) на электроэнергию из биомассы/биогаза. Например, в Финляндии субсидия на выращивание двухкосточника тростниковидного такая же, как для традиционных сельскохозяйственных

⁶ На сегодня до 99% объема моторных биотоплив наземного транспорта в ЕС производится из традиционных сельхозкультур [19]

⁷ European Strategic Energy Technology Plan

http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/127079_en.htm

⁸ <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>

культур – 500-700 евро/га/год. Кроме того, есть субсидия для создания быстрорастущих лесных плантаций – 500 евро/га. В Австрии к «зеленому» тарифу на электроэнергию из биомассы доплачивается дополнительный бонус за использование энергетических культур.

Таблица 2. Движущие силы и инструменты стимулирования выращивания энергетических культур в ЕС [3, 9, 37].

Страны ЕС	Движущие силы	Инструменты
Австрия	Большой рынок для биотоплив, в т.ч. гранул.	«Зеленый» тариф на э/э из биомассы/биогаза. Дополнительный бонус 4 евроцента/кВт·ч для э/э из энергокультур с 2008 г.
Германия	Стимулирование производства биогаза для подачи в сеть. Стимулирование производства биотоплив 2-го поколения.	«Зеленый» тариф на э/э из биомассы/биогаза.
Дания	Высокие цены на биомассу	
Финляндия	Большой рынок/спрос на биомассу.	Субсидия на создание быстрорастущих лесных плантаций: 500 евро/га. Субсидия на выращивание двукисточника тростниковидного: 500-700 евро/га/год.
Франция	Фонд для проведения реформы сахарной отрасли (64 млн. евро). Акцент на очистку сточных вод и защиту водоносных горизонтов.	
Италия	Реформа сахарной отрасли.	«Зеленый» тариф на э/э из биомассы/биогаза.
Польша	Большой потенциал с/х. Законодательство по производству э/э из биомассы (стимулирование использования с/х биомассы).	
Швеция	Налог на выбросы CO ₂ . Большой рынок/спрос на биомассу.	Субсидия на создание плантаций ивы: 500 евро/га.
Великобритания	Ограниченные ресурсы древесной биомассы.	Субсидия на создание плантаций энергокультур: 800-1000 фунтов/га (ива, мискантус, тополь и др.). Сертификаты за использование ВИЭ для производства э/э (в определенном обязательном объеме).
Румыния	Большой потенциал земель, доступных для выращивания энергокультур.	
Испания	Большой потенциал земель, доступных для выращивания энергокультур [2]	Специальный «регулируемый» тариф на э/э из энергокультур.

Особенности выращивания энергетических культур

Урожайность энергетических культур напрямую зависит от климатических, почвенных и других условий. Культуры имеют различную потребность в водном режиме, могут значительно отличаться по морозо- и засухоустойчивости (Таблица 3). Для стран ЕС составлены таблицы и карты с указанием культур, рекомендуемых для разных климатических зон. Например, для *континентальной зоны* считаются целесообразными такие культуры как ива, тополь, мискантус, кукуруза, подсолнечник, рапс, сорго, лен, двукисточник тростниковидный; для *севера средиземноморья* – тополь, мискантус, арундо тростниковый, кукуруза, подсолнечник, сорго, лен, сахарная свекла, соя, рапс, кенаф; для *юга средиземноморья* – арундо тростниковый, артишок испанский, эвкалипт, сорго, лен [9].

Таблица 3. Характеристики энергетических культур по отношению к условиям выращивания [9].

Энергокультура	Температура, °С			Потребность в воде	Морозоустойчивость	Засухоустойчивость
	прорастание семян	рост культуры				
		min	max			
<i>Однолетние культуры</i>						
Рапс	>5	5	30	средняя	высокая	средняя
Подсолнечник	10	5	35	средняя	низкая	средняя
Лен	7-9	8	30	средняя	средняя	средняя
Сорго	12	10	40	средняя	низкая	высокая
<i>Быстрорастущие древовидные культуры</i>						
Ива	-	0	30	высокая	высокая	низкая
Тополь	-	0	30	средняя	средняя	средняя
Эвкалипт	-	5	35	высокая	низкая	высокая
<i>Многолетние травяные культуры</i>						
Двукисточник тростниковидный				высокая	высокая	низкая
Просо прутьевидное				средняя	высокая	средняя/высокая
Мискантус				средняя [22]/ высокая	средняя	низкая
Арундо тростниковый				средняя	низкая	средняя/высокая
Артишок испанский				низкая	низкая	высокая

Выращивание всех энергетических культур можно условно разбить на 3 этапа: 1) подготовка почвы; 2) непосредственно выращивание (посадка, уход за плантацией); 3) сбор урожая (заключительной операцией является ликвидация плантации после окончания срока ее существования). В зависимости от вида энергетической культуры процесс

выращивания имеет свои характерные особенности. Так, например, мискантус высаживается корневищами, тополь и ива – саженцами, рапс, подсолнечник, лен – семенами.

Рассмотрим полный цикл выращивания на примере нескольких энергетических культур, наиболее подходящих для условий Украины.

Ива (Salix spp.)

Энергетическая ива – древовидная культура, позволяющая создавать высокопродуктивные плантации с длительным сроком существования. Представляет собой куст или кустообразное дерево высотой до 6-8 м. Обычно энергетическая ива густорастущая, имеет большое количество побегов, которыми довольно легко размножается. Культура характеризуется высокими показателями прироста по длине – до 3-5 см в день, в среднем 1,5 м в год. Древесина ивы в сравнении с большинством других древесных пород относительно легкая.



Рис. 1. Плантация ивы и сбор урожая.

Насаждения ивы остаются продуктивными 20-30 лет, а урожай в течение этого периода можно собирать каждые 2-3 года. Средний урожай ивы составляет **10-12 т** сухой массы с га за год [22-24]. Наибольший урожай получают на 4-5 год выращивания – 16-20 сух. т/га/год. По данным некоторых авторов, при особенно благоприятных условиях урожай может достигать 30-40 сух. т/га/год [25, 26].

Степень истощения земли ивой в 3-5 раз ниже, чем зерновыми культурами, к тому же порядка 60-80% питательных веществ возвращаются в землю вместе с опавшей листвой [4].

Положительным свойством ивы является устойчивость к морозам, к вредителям и болезням. Она может расти на почвах различного типа, на заболоченных и непродуктивных (требующих рекультивации) землях. Конечно, на землях низкого качества культура растет не так быстро как в благоприятных условиях, однако интенсивному росту способствует хорошо развитая корневая система.

Особенностью ивы является то, что она может испарять из почвы большое количество воды. Таким путем можно решить проблему осушения почв с большим объемом подземных вод или защитить землю от заболачивания. В период интенсивной вегетации плантация ивы может испарять 300-800 тыс. л/га в зависимости от плотности посадки [21]. Кроме того, культура способна абсорбировать большие количества металлических микроэлементов, что приводит к очищению загрязненных почв и сточных вод (при поливке плантации сточными водами) [6].

Посадку ивы целесообразно проводить ранней весной, сразу после морозов, поскольку в этот период влажность почвы является наиболее благоприятной (Табл. 4). Посадка может выполняться вручную или механизировано. При ручной посадке используют саженцы длиной около 20 см, при машинной – саженцы 1,5-2 м, которые режутся в процессе посадки машинным способом на черенки 18-20 см. Почва должна быть соответствующим образом подготовлена – вспахана, прокультивирована и очищена от сорняков. Плотность посадки составляет 15-20 тыс. шт./га. В первые месяцы особое внимание следует уделять контролю сорняков, пока кусты культуры не сомкнутся и не закроют сорняки.

Удобрение плантаций энергетической ивы следует проводить, исходя из объема выноса питательных веществ культурой и запаса питательных веществ в почве. К примеру, в 10 т сухой древесины ивы содержится 46-49 кг N, 12-15 кг P, 22-29 кг K, 40 кг Ca, 10 кг Mg. При 3-летнем цикле сбора урожая и производительности 10 т сухой массы с гектара в год можно ориентироваться на следующие нормы внесения удобрений: азот 150 кг/га, фосфор 45 кг/га, калий 90 кг/га, кальций 120 кг/га, магний 30 кг/га (один раз в три года после срезания). На бедных почвах норма внесения удобрений должна быть увеличена на 30-40% до достижения средних показателей плодородия почвы.

В первый год азотные удобрения вносить не рекомендуют в связи с необходимостью развития корневой системы растений. В последующие годы его целесообразно вносить частями в период начала вегетации и интенсивного роста.

С листвой за 3-летний период в почву попадает 20 кг азота, поэтому, после сбора урожая целесообразно проводить культивацию междурядий.

После первого года роста культуру необходимо срезать на высоте до 5 см от земли для стимулирования процесса кущения (некоторые исследования утверждают, что производительность насаждений без проведения технического среза выше на момент сбора урожая, также не рекомендуют проводить технический срез при слабом росте растений и большом количестве сорняков).

Таблица 4. Примерный график агротехнических операций выращивания ивы при 3-летнем цикле [27]

Год	Сезон	Операции
0	осень	<i>Подготовка почвы:</i> - скашивание, корчевание существующих растений (при необходимости); - внесение гербицида контактного действия для контроля многолетних сорняков; - обработка почвы дисковым культиватором; - вспашка; - культивация; - посев покровной культуры ⁹ (используется, если есть возможность готовить почву в течение 1 года); - обработка почвы культиватором ¹⁰ .
1	весна	<i>Посадка:</i> - обработка почвы дисковым культиватором; - обработка почвы культиватором; - посадка саженцев; - внесение предвсходовых гербицидов; - механический и/или гербицидный контроль сорняков.
1	зима	Технологический срез (по необходимости)
2	весна	Внесение удобрений (по необходимости); контроль сорняков (по необходимости)
3	весь год	Рост плантации (2-3 года)
4	зима	Сбор 1-го урожая
5	весна	Внесение удобрений (по необходимости); культивация междурядий
6	весь год	Рост плантации (2-3 года)
7	зима	Сбор 2-го урожая
8-22		Повтор 3-летнего цикла со сбором 3-7-го урожая.
23	весна/лето	Ликвидация плантации

Собирают иву после окончания вегетации, то есть с октября-ноября по март-апрель, но преимущественно в зимний период (после опадания листвы). С энергетической точки зрения наилучшим является урожай культуры при 3-х летнем и более цикле сбора. К этому моменту диаметр стеблей растений составляет около 28-31 мм, высота – 5-6 м. Сбор урожая выполняется обычным силосоуборочным комбайном с жаткой для вербы. С одной плантации

⁹ Покровная (запашная) культура (п.к.) – культура, высеваемая для улучшения качества почвы. При запахивании покровной культуры почва обогащается органическими веществами и азотом (бобовые п.к.).

¹⁰ CultiPack – специальный агрегат для предпосевной обработки почвы
<http://www.tumeagri.fi/esitteet/tume-muokkaimetRUS.pdf>

можно собирать урожай 7-8 раз (при 3-летнем цикле), после чего необходимо провести рекультивацию. Ликвидация плантации представляет собой относительно простую операцию ввиду неглубокой корневой системы культуры. Весной при высоте побегов около 20-30 см необходимо внести гербицид, срезать ветки и припахать. Осенью землю уже можно использовать для выращивания других культур.

По данным специалистов Института биоэнергетических культур и сахарной свеклы НААН Украины для условий Украины перспективной является ива – *Salix*, дающая возможность создания сортов и гибридов для различных направлений использования. Как правило, для энергетических целей используют иву вида *Salix Viminalis* (ива прутьевидная) и ее производные [32].

Тополь (Populus spp.)

Тополь также как и ива относится к многолетним древовидным энергетическим культурам. Он выращивается в сходных с ивой условиях по похожим технологиям. Тополь устойчив к вредителям, может расти на бедных почвах и загрязненных землях, однако он менее морозоустойчив, чем ива, поэтому, как правило, не выращивается в североевропейских странах. Культура практически не требует применения пестицидов и удобрений¹¹. С плантации энергетического тополя можно получать биомассу в объеме 8-15 сух. т/га в год, а на хороших почвах новые клоны могут давать до 16-20 сух. т/га в год [29-31].

Энергетический тополь можно выращивать по трем технологиям [29, 3]: плантации с (I) очень быстрым, (II) быстрым и (III) средним оборотом. Они различаются количеством насаждений на гектар и частотой сбора урожая. В первом случае плотность посадки –10-15 тыс. растений на га, урожай собирают интервалом в 1 год, диаметр ствола на уровне среза составляет 2-3 см. На плантациях с быстрым оборотом на гектар высаживают 5-10 тыс. растений, урожай собирают каждые 2-3 года, диаметр ствола на уровне среза достигает 10-12 см. В третьем случае плотность посадки составляет 1,3-3 тыс. шт./га, сбор урожая выполняют с интервалом в 5-6 лет, диаметр ствола (на уровне около 1,3 м) – до 15 см. На плантациях с очень быстрым и быстрым оборотом урожай можно собирать комбайном типа Claas со специальной жаткой. Для плантаций со средним оборотом можно адаптировать обычное лесохозяйственное оборудование небольшой мощности (из-за сравнительно небольшого диаметра ствола тополя). Опыт Европы показывает, что, как правило, бóльшая продуктивность наблюдается на плантациях со средним оборотом (технология III) [33].

Срок существования плантации энергетического тополя – 15-20 лет. При 3-х летнем цикле выращивания за этот период можно собрать 5-7 урожаев. Ликвидация плантации является более трудоемкой, чем в случае ивы, поскольку тополь часто формирует большой стержневой корень.

¹¹ Удобрения могут вноситься по необходимости для стимулирования роста. Например, в Испании и Италии практикуют внесение комбинации минеральных и органических удобрений до посадки, что позволяет обеспечить медленное и постепенное поступление питательных веществ. Если стоит задача достичь повышенной продуктивности плантации, то для стимулирования роста новых побегов вскоре после сбора урожая в междурядье периодически вносят 60-80 кг N/га [3].



Рис. 2. Плантация тополя и сбор урожая.

Существуют различные виды тополя, среди которых для условий Украины специалисты рекомендуют тополь Торопогрицкого (гибрид тополя евроамериканского I-214 и пирамидального). Этот клон характеризуется высокой продуктивностью и стойкостью к неблагоприятным условиям. В обычных условиях средний прирост тополя Торопогрицкого составляет $14 \text{ м}^3/\text{га}$ в год, а при высокой увлажненности и трофности¹² почвы этот показатель может вырасти почти до $37 \text{ м}^3/\text{га}$ в год [28].

¹² Трофность – характеристика почвы по ее биологической продуктивности, обусловленной содержанием биогенных элементов. Понятие «трофность почвы» практически идентично понятию «плодородие почвы». Обычно по уровню трофности почвы условно делятся на богатые и бедные. Типичным представителем богатых почв являются чернозёмы.

<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C>

Мискантус (Miscanthus spp.)

Мискантус представляет собой многолетнюю корневищную траву, происходящую из Азии. После однократной посадки культуру можно собирать ежегодно на протяжении 15 и более лет со средней урожайностью порядка 10 сух. т/га. Мискантус имеет хорошо развитую корневую систему (2,5 м вглубь), характеризуется быстрым ростом и неплохой стойкостью к низким температурам¹³. Культура имеет относительно небольшую потребность в воде, соответствующую годовому количеству осадков на уровне 600-700 мм. Для выращивания подходят среднеплотные почвы с низким уровнем грунтовых вод [22, 34].

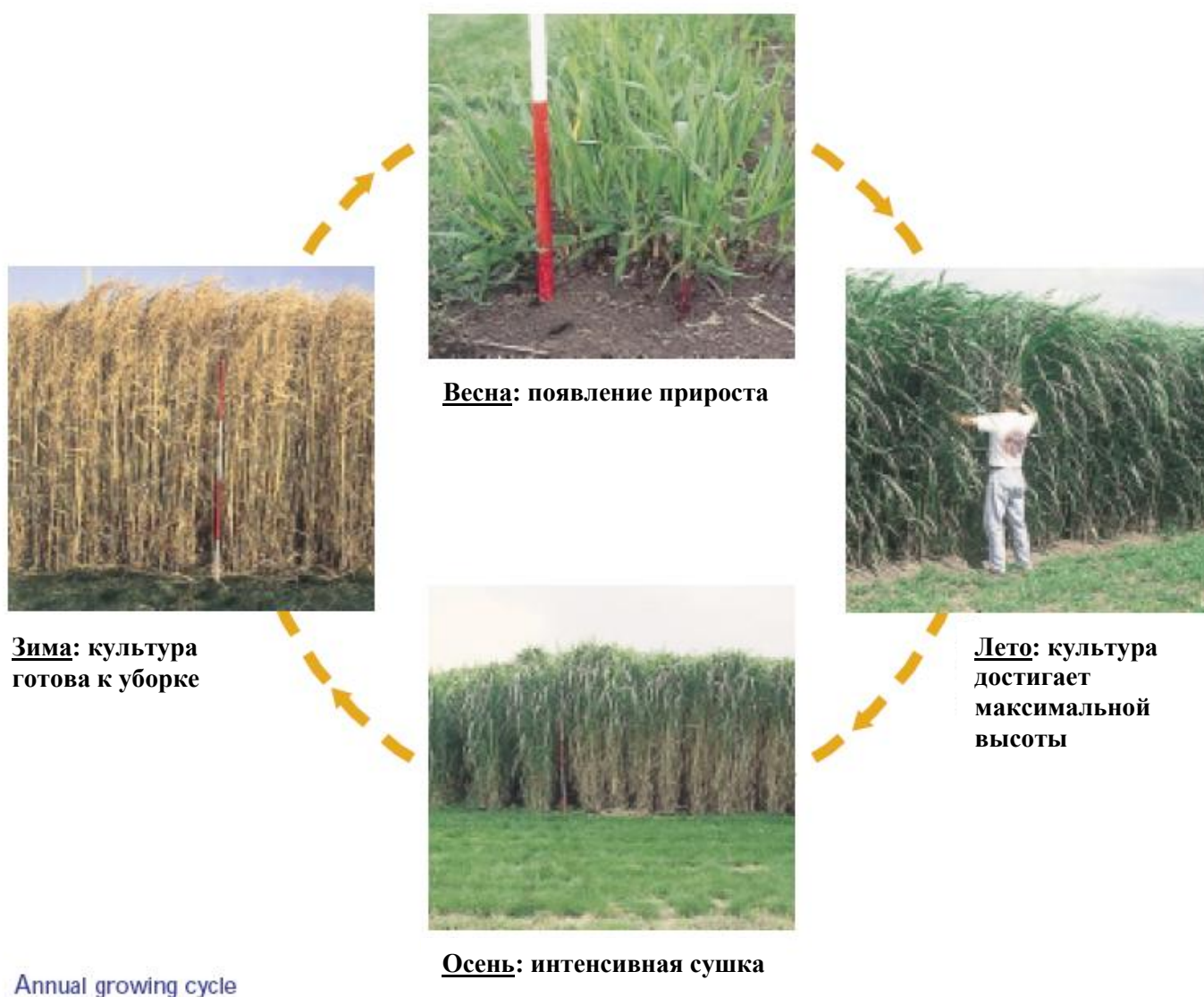


Рис. 3. Годовой цикл плантации мискантуса [34]

¹³ Мискантус не растет при температуре ниже 6 °С. Однако это пороговое значение значительно ниже, чем, например, для кукурузы, а следовательно сезон роста – более длительный [33]. Опасность представляют заморозки в период поздней весны, в результате которых погибают побеги и сокращается общий период роста культуры [34].

Мискантус высаживают весной в марте-апреле. Почва должна быть соответствующим образом подготовлена – очищена от сорняков и вспахана для устранения уплотнений. В Европе используется два метода разведения Мискантуса – вегетативным размножением и делением корневищ. Последний метод используется чаще и является более экономичным. Корневища высаживают на глубину 5-15 см с учетом необходимого пространства для их дальнейшего разрастания. Плотность посадки составляет 10-15 (и даже более) тысяч корневищ на гектар. Посадка может выполняться как обычной сельскохозяйственной техникой (например, полуавтоматической машиной для посадки картофеля или агрегатом для разбрасывания навоза), так и специально разработанными посадочными машинами.

В процессе роста культура нуждается в небольшом количестве удобрений (50-70 кг N /га в год) благодаря своей способности эффективно использовать питательные вещества [33]. Учитывая высокую стойкость мискантуса к болезням, химическая защита не нужна. Однако необходимо тщательно следить за удалением сорняков в начальной фазе роста плантации, так как их наличие может привести к существенному снижению урожайности.

К концу августа первого года растение достигает высоты 1-2 м с диаметром стебля около 10 мм, в июле начинается процесс сушки, а с началом зимнего периода можно проводить сбор урожая. В первый год после посадки мискантус не собирают ввиду низкой урожайности (до 8 сух. т/га). Во второй год растение достигает своей максимальной высоты (2,5-3,5 м), и урожайность поднимается до 10 сух. т/га. К третьему году урожай культуры составляет около 10-15 (максимум 20) тонн сухого вещества на гектар. Мискантус чувствителен к качеству почвы, поэтому на плодородных почвах урожай может достигать до 30 сух. т/га в год, а на бедных – едва достигать 10 сух. т/га/год. Однако рост продуктивности плантации вызывает повышенную потребность в воде. Вид Мискант гигантский (*Miscanthus×giganteus*) может потреблять до 900 мм/год [33]. После 10-го года плантации продуктивность начинает систематически снижаться.

Для уборки мискантуса используют тяжелые роторные косилки и рулонные пресс-подборщики или самоходные кормоуборочные комбайны. При этом, учитывая толщину и твердость стеблей, рекомендуется применять специальные машины, приспособленные к тяжелым условиям эксплуатации [22].

Топливные характеристики энергетических культур

Энергетические культуры используются для получения твердых, жидких и газообразных биотоплив. В данной Аналитической записке рассматриваются культуры, предназначенные для производства твердых биотоплив – щепы, гранул, брикетов. Топливные характеристики нескольких таких культур представлены в **Таблице 6**. 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.

Таблица 6. Топливные характеристики энергетических культур и других биотоплив

Показатели	Мискантус	Ива	Тополь	Солома зерновых культур (для сравнения) [10]	Древесная щепа (для сравнения) [11]
Влажность при сборе, %	15 [33] 15-23 [22]	53 [33] 50 [3]	49 [33] 50-55 [3]	15-20	40
Q_n^p , МДж/кг (сух. мас.)	17,5 [33] 17-19,5 [22]	18,5 [33]	18,7 [33]	~18	~19 [12]
Содержание летучих веществ, %	>78 [13]	79 [13]	83 [13]	>70	>70
Зольность, %	3,7 [33] 2,3 [15]	2,0 [33] 1,5-2 [6]	1,5 [33] 0,5-1,9 [3]	3-4	0,6-1,5
<i>Элементарный состав, %:</i>					
С	46,97 [13]	50,28 [13]	47,95 [13]	42-43	50
Н	5,57 [13]	5,98 [13]	5,92 [13]	5	6
О	45,82 [13]	42,65 [13]	45,29 [13]	37-38	43
Cl	0,04 [13]	0,02 [13] 0,03 [3]	0,03 [13] 0,04 [3]	0,2-0,75	0,02
К*	0,46% [43]	123,3 г/кг золы [3]	0,21% [35] 28,6 г/кг золы [3]	0,22-1,18% 0,2-0,98% [35]	0,13-0,35% [14] ~81 г/кг золы [3]
N*	0,16 [15] 0,57 [43]	0,5-1,0 [6] 0,74 [13]	0,77 [13] 0,9 [3]	0,35-0,41	0,3
S	0,28 [13]	0,34 [13] 0,03 [3]	0,03 [13] 0,2 [3]	0,13-0,16	0,05
Температура плавления золы, °С	1250 [6] 1385 [13]	>1500 [6] 1528 [13]	1200-1500 [13] 1160 [3]	950-1000	1000-1400

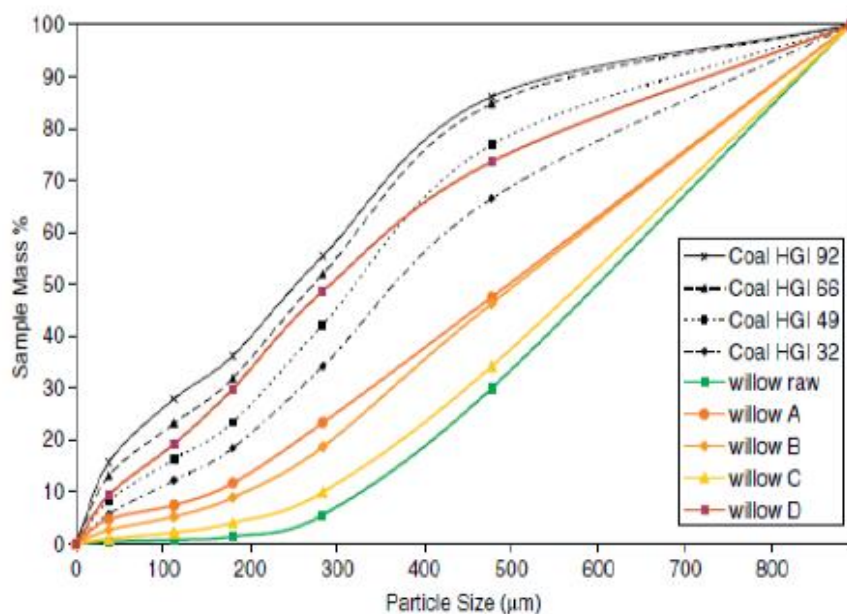
* Содержание зависит от объема вноса удобрений.

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

В работе [6] 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 (1,5-2%) и

азота ($0,05^{14}$ - $0,4^{15}$ сух. мас. %). 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 очень высокую температуру плавления золы (> 1500 °C) и низкую тенденцию к ошлакованию элементов энергетического оборудования.

Также была исследована податливость биомассы ивы к измельчению, что имеет значение при совместном сжигании с углем и при изготовлении гранул. Получено, что необработанная биомасса плохо поддается измельчению, тогда как показатели торрефицированной¹⁶ биомассы ивы по размеру и распределению частиц могут приближаться к углю (Рис. 4). Энергозатраты на измельчение торрефицированной биомассы составляют 10-20% таковых для случая необработанного сырья. Это объясняется тем, что в процессе торрефикации происходит разрушение гемицеллюлозы и сформированных ею структурных связей, в результате чего образуется материал с более «слабыми» связями, податливый к измельчению.



A, B, C, D – биомасса ивы, торрефицированная при различных условиях (A – наименьшая температура, D – наибольшая температура); willow raw – необработанная биомасса ивы; coal – уголь

Рис. 4. Распределение частиц (мас. %) для измельченной биомассы ивы и для угля [6]

¹⁴ Для случая отсутствия вноса азотных удобрений.

¹⁵ Для случая вноса 150 кг N/га в виде $NH_4(NO_3)$.

¹⁶ Торрефикация (torrefaction) – термохимическая обработка биомассы при температурах 200-320 °C при атмосферном давлении в отсутствие кислорода. Называют также «мягкой» формой пиролиза.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Torrefaction>

Изучение элементного и биохимического состава образцов ивы показало, что генотип с наивысшим содержанием лигнина (27,13% – генотип *F*, Табл. 7) имеет наибольшую зольность (2,88-3,25%). И наоборот, генотип с наименьшим содержанием лигнина (1,11-1,37%) – генотип *B*) имеет минимальную зольность (1,11-1,37%). Наибольшую теплоту сгорания имеют генотипы с высоким содержанием углерода и малым содержанием кислорода (например, генотипы *A*, *B*). В целом, в работе [6] сделан вывод о хороших топливных характеристиках биомассы ивы (за исключением генотипа *S. elaeagnos Scop.*) и перспективности выращивания и использования этого вида биотоплива.

Таблица 7. Топливные характеристики различных генотипов ивы [6].

Показатели	<i>S.aurita L.</i>		<i>S.viminalis x S.schwerinii</i>		<i>S.eriocephala Michx.</i>		<i>S.drummondiana Barratt ex Hook.</i>		<i>S.mielichhoferii Saut.</i>		<i>S.elaeagnos Scop.</i>	
	A		B		C		D		E		F	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
<i>Элементный состав, % сух. мас. без золы</i>												
C	53,65	49,33	53,58	49,52	53,68	49,57	51,98	51,00	46,13	50,62	54,27	51,01
H	6,73	6,00	6,81	5,99	6,34	5,95	6,47	6,03	5,80	6,12	6,85	6,36
N	0,95	0,57	0,81	0,45	1,02	0,36	0,86	0,85	0,57	0,66	0,89	1,25
O	38,67	44,10	38,80	44,04	38,96	44,12	40,69	42,12	47,50	42,60	37,99	41,38
<i>Топливные свойства</i>												
Влажность, %	6,16	2,73	6,59	2,72	4,96	2,89	4,74	2,72	5,46	2,26	6,05	5,65
Выход летучих веществ, %	75,77	78,35	75,89	79,09	77,28	79,53	75,25	76,70	76,00	79,00	73,94	73,31
Связанный углерод, %*	16,57	17,33	16,40	16,82	16,20	15,57	18,31	18,95	16,95	16,97	17,13	17,79
Зольность, %	1,5	1,59	1,11	1,37	1,56	2,01	1,71	1,63	1,59	1,77	2,88	3,25
Q _v ^p , МДж/кг сух. мас.**	21,50	19,28	21,61	19,39	21,33	19,24	20,56	20,00	17,98	19,81	21,41	19,74
<i>Биохимический состав, %</i>												
Гемицеллюлоза	7,35	15,07	13,29	13,95	9,14	14,70	13,77	11,51	15,09	11,47	9,80	н.д.
Целлюлоза	50,02	43,92	52,98	47,80	54,06	48,03	33,52	38,34	42,22	43,57	46,56	н.д.
Лигнин	18,40	18,41	15,49	15,46	18,05	14,79	22,17	18,42	18,62	18,35	27,13	н.д.

* Рассчитано по разнице.

** Получено расчетным путем.

I – исследование, проведенное в декабре 2008 г., II – исследование, проведенное в феврале 2011 г.

Авторы [15] исследовали топливные характеристики четырех многолетних травянистых энергетических культур – мискантуса, проса прутьевидного, арундо тростникового, артишока испанского (Рис. 5) в сравнении с «эталонным» топливом – древесными гранулами австрийского производства.



A – гранулы из проса прутьевидного, B – гранулы из артишока испанского, C – измельченный арундо тростниковый, D – измельченный мискантус

Рис. 5. Исследованные биотоплива из травянистых энергокультур [15]

По сравнению с древесиной, исследованные многолетние энергокультуры имеют гораздо большую зольность, из них наименьшая – у мискантуса (2,3% сух. мас.) (**Таблица 8**). Повышенная зольность объясняется метаболизмом быстрого роста (накапливание питательных веществ) и отличной от древесины органической структурой (SiO_2 -фитолиты¹⁷). 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. Из **Таблицы 8** видно, что 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 артишока испанского). Для древесных гранул отношение $\text{Cl/S} < 1$. 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.

¹⁷ Фитолиты – кристаллы кремния, сформировавшиеся в волокнах растения.

Таблица 8. Топливные характеристики многолетних травянистых энергокультур [15].

Показатели	Просо прутьевидное (гранулы)	Арундо тростниковый (щепа)	Мискантус (щепа)	Артишок испанский (гранулы)	Древесные гранулы (для сравнения)
Зольность, % сух. мас.	8,3	6,1	2,3	17,4	0,50
Содержание N, % сух. мас.	0,67	0,71	0,16	1,1	0,08
<i>Элементный состав, мг/кг сух. мас.</i>					
Si	14,99	13,92	7,30	21,14	<400
Ca	6,55	3,25	1,77	19,02	938
K	12,75	6,49	1,44	21,54	485
Na	924	331	58	10,33	30
Mg	2,22	1,62	644	3,93	152
Al	763	919	82	4,44	н.д.
S	735	2,16	390	1,56	73
Cl	1,51	2,24	880	17,78	53
Cl/S*	0,002	1,04	2,25	11,39	0,73
Q _v ^p , МДж/кг сух. мас. без золы	17,8	19,8	19,6	20,3	20,3
Объемная плотность, кг сух. мас./м ³	585	116	117	561	644

* Показатель потенциальной способности топлива вызывать коррозию элементов энергетического 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 9** видно, что показатели горения щепы мискантуса полностью находятся в пределах австрийских лимитов для эмиссии твердых частиц, оксидов азота и CO.

Таблица 9. Средние показатели эмиссии при горении биотоплива из многолетних травянистых энергетических культур, мг/нм³ (13% O₂, сух. мас.) [15].

Загрязняющие вещества	Просо прутьевидное	Арундо тростниковый	Мискантус	Древесные гранулы (для сравнения)	Австрийские нормы по выбросам для установок 100-350 кВт
Твердые частицы, всего, <i>в том числе</i>	58	102	27	21	150
< 1 μm (аэрозоли)	50	67	16	16	
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 [15] 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 добавление извести для повышения температуры плавления шлаковых отложений. Еще один возможный метод – совместное сжигание энергокультур с древесиной, в результате чего снизится эмиссия HCl, SO₂, NO_x и твердых частиц.

В работе [13] изучены характеристики горения биомассы нескольких энергетических культур, в том числе ивы, тополя, мискантуса. В основном полученные результаты совпадают с выводами приведенных выше исследований (данные по топливным характеристикам представлены в **Таблице 6**). Ива имеет высокую температуру плавления золы (>1500 °C) и наименьшие проблемы с ошлакованием поверхностей энергооборудования. Зольность мискантуса (6,74%) заметно выше зольности ивы (1,93%) и тополя (1,71%). Это же относится и к содержанию азота. Наихудшие топливные свойства из рассмотренных культур имеет артишок испанский. В отличие от работы [15] авторы [13] 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*), расположенные 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 [4, 5].

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)¹⁸.

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. В 2014 г. планируется 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 [16].

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 [17].

В Украине также проводится широкая научно-исследовательская работа, посвященная энергетическим культурам. Большой вклад в это направление вносит Институт биоэнергетических культур и сахарной свеклы НААН Украины¹⁹. Так, например, в Институте ведется работа по изучению генофонда ивы рода *Salix L.* различного 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.* [32]. Исследуются вопросы урожайности сахарного сорго, мискантуса и других культур. Подготовлен Атлас высокопродуктивных биоэнергетических культур [18].

Несмотря на довольно активное развитие в последние годы выращивания энергетических культур в Украине, существует ряд проблем, требующих разрешения. Одна

¹⁸ Информация с веб-сайта <http://www.phytofuels.com.ua> (в настоящее время не работает)

¹⁹ Веб-сайт Института <http://sugarbeet.gov.ua/>

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 Биоэнергетическая ассоциация Украины считает 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 БАУ в Украине имеется 3-4 млн. га неиспользуемых сельскохозяйственных земель (по данным 2012 г. – 3,5 млн. га²⁰), которые можно задействовать для выращивания энергетических культур. Рекомендуется для этого направления использовать до 2 млн. га, разделив их (согласно одному из возможных сценариев²¹) 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.

По оценке некоторых представителей аграрного сектора в Украине имеется около 8 млн. га земель, доступных для выращивания энергокультур. Большую часть этих земель они предлагают использовать для выращивания кукурузы на биогаз. Мы считаем, что такие оценки являются необоснованно завышенными, и что под энергетические культуры разумно занимать не более 1-2 млн. га земель.

С учетом разработанных БАУ 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. (**Таблица 10**). Соответственно, урожай этих культур будет эквивалентен **1 млн. т у.т.** в 2020 г. и около **5 млн. т у.т.** в 2030 г.

²⁰ Методика оценки: площадь пашни (32,5 млн. га) – посевная площадь (27,8 млн. га) – площадь чистых паров (1,2 млн. га) = 3,5 млн. га [20].

²¹ Более подробно возможные сценарии выращивания энергетических культур в Украине рассмотрены в Аналитической Записке БАУ №9 [20].

Таблица 10. Концепция 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	20	25	
- мискантус	10	15	
- тополь	6	9	
- кукуруза (на биогаз)	64	51	
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 [20]:			
- 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 [20].

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 ТЭО по выращиванию энергетического тополя с 2-х летним циклом сбора урожая в Украине представлены в **Таблице 11**.

Таблица 11. Технико-экономические показатели выращивания энергетического тополя в Украине – плантация 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%).

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 (**Рис. 6**). 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.

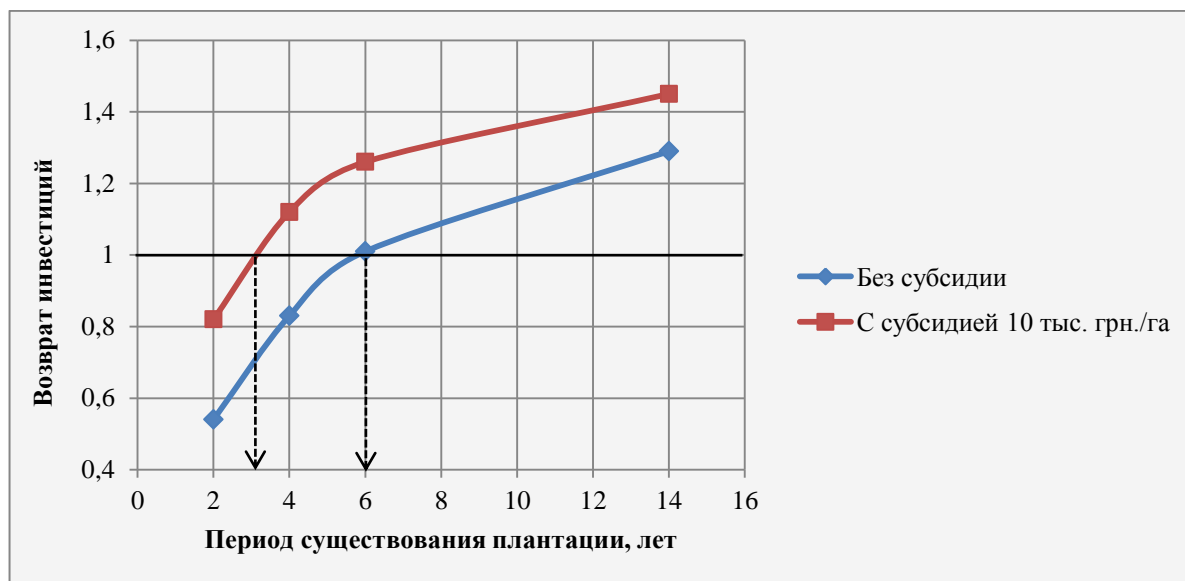


Рис. 6. Возврат инвестиций плантации тополя с 2-х летним циклом при отпускной цене биомассы 400 грн./т

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) (**Рис. 7**).

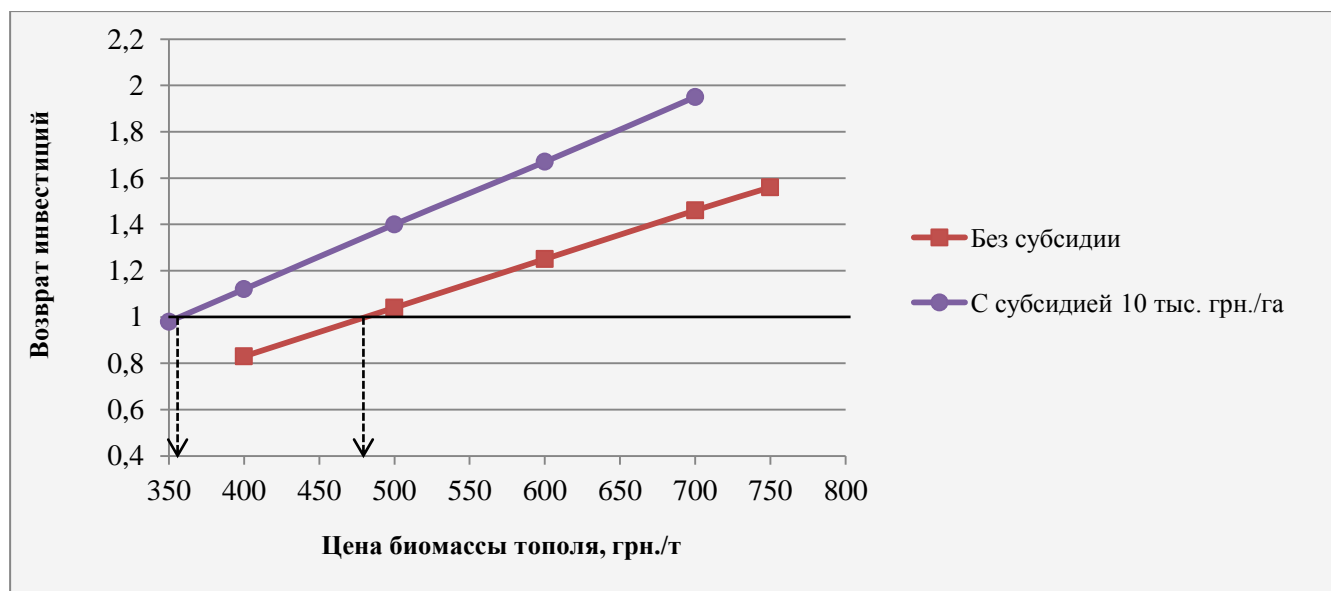


Рис. 7. Зависимость скорости возврата инвестиций от отпускной цены биомассы после 2-го цикла плантации тополя с 2-х летним оборотом

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 (Таблица 12). При этом доля субсидии от стоимости природного газа, замещаемого энергокультурами, составляет **38%**.

Таблица 12. 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 (щепы) (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 (ивы) 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 84,4	10 168,8	10 337,5
Стоимость замещаемого энергетической ивой природного газа (при цене 380 \$/1000 м ³), млн. грн.	225	450	900
<i>Доля необходимой субсидии на энергокультуры от стоимости природного газа, замещаемого ивой</i>	38%	38%	38%

W – влажность (по массе).

Выводы

Энергетические культуры являются важным направлением биоэнергетического сектора ЕС. Около трети цели Евросоюза по энергопотреблению из биомассы в 2020 г. может быть покрыто за счет энергетических культур, что составит **45** млн. т н.э./год.

На сегодня в странах Евросоюза 13,2 млн. га земель доступны для выращивания энергокультур; к 2020 г. этот показатель может вырасти до 20,5 млн. га, а к 2030 г. – до 26,2 млн. га. По оценке Европейской Комиссии, для достижения цели 2020 года (10% ВИЭ в транспортном секторе ЕС) под энергетические культуры необходимо задействовать 17,5 млн. га или около 10% всех сельскохозяйственных земель стран ЕС.

Помимо общеевропейских механизмов регулирования в каждой стране ЕС существуют свои движущие силы и инструменты для стимулирования выращивания энергетических культур. Типичными инструментами являются государственная субсидия на гектар площади под энергокультурами и «зеленый» тариф (или аналогичный механизм) на электроэнергию из биомассы.

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 Биоэнергетическая ассоциация Украины считает 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 БАУ 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 БАУ, 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. (**Таблица 13**). Соответственно, урожай этих культур будет эквивалентен **1 млн. т у.т.** в 2020 г. и около **5 млн. т у.т.** в 2030 г.

Таблица 13. Концепция БАУ по выращиванию энергетических культур в Украине

Энергокультура	2014 г.		2020 г.		2030 г.	
	площадь, тыс. га	урожай, млн. т у.т./год	площадь, тыс. га	урожай, млн. т у.т./год	площадь, тыс. га	урожай, млн. т у.т./год
Кукуруза на силос для получения биогаза	1	0,004	100	0,37	500	1,84
Ива	2	0,013	50	0,33	250	1,66
Мискантус	~0	~0	30	0,19	150	0,94
Тополь	~0	~0	20	0,11	100	0,54
Всего	3	0,017	200	1,0	1000	4,98

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%**.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Annual Statistical Report on the contribution of biomass to the energy system in the EU 27*, АЕБИОМ, 2011.
<http://ru.scribd.com/doc/73012151/2011-AEBIOM-Annual-Statistical-Report>
2. *European Bioenergy Outlook 2012*, АЕБИОМ.
http://www.aebiom.org/blog/category/publications/aebiom_reports/
3. *Energy from field energy crops – a handbook for energy producers*. АЕБИОМ, 2009
<http://www.aebiom.org/wp-content/uploads/file/Publications/Handbook%20for%20energy%20producers.pdf>
4. *Ирина Гнап*. Выращивание энергетической вербы на Волини: результаты за первые 3 года. Презентация на семинаре “GREENEXPO | Альтернативная энергетика», 18 октября 2013 г., Киев.
5. Веб-сайт компании “Salix Energy” <http://www.salix-energy.com/>
6. *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](http://etheses.whiterose.ac.uk/3352/1/Combustion_Characteristics_of_some_Imported_Feedstocks_and_SRC_willow_for_UK_power_stations.pdf)
7. *European Bioenergy Outlook*. АЕБИОМ, 2013
<http://www.aebiom.org/blog/aebiom-statistical-report-2013/>
8. *EU legislation and cooperation for energy crops*. LogistEC project of FP7, 2014
[http://www.logistecproject.eu/download/factsheets/Factsheet EU%20legislation%20and%20cooperation%20final%2010%20Jan.pdf](http://www.logistecproject.eu/download/factsheets/Factsheet_EU%20legislation%20and%20cooperation%20final%2010%20Jan.pdf)
9. *E. Alexopoulou, M. Christou, I. Eleftheriadis*. Role of 4F cropping in determining future biomass potentials, including sustainability and policy related issues. Biomass Department of CRES, 2010-2012.
http://www.biomassfutures.eu/public_docs/final_deliverables/WP3/D3.2%20Role%20of%204F%20crops.pdf
10. *Гелетуха Г.Г., Железная Т.А.* Перспективы использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине. Аналитическая записка БАУ №7, 2014
<http://www.uabio.org/img/files/docs/Position-paper-uabio-7-ru.pdf>
11. *L. Nikolaisen, C. Nielsen, M.G. Larsen et al.* Straw for energy production. Technology – Environment – Economy. The Centre for Biomass Technology, Denmark. 1998.
12. *K. Suadicani, A. Evald, H. H. Jakobsen*. Wood chips for energy production. Technology – Environment – Economy. The Centre for Biomass Technology, Denmark. 1993.
13. *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
14. *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
15. *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
http://www.cres.gr/bioenergy_chains/files/pdf/Articles/10-Rome%20OE1_1.pdf
 16. Интернет-портал Energy Нефть&Газ
<http://oil-gas-energy.com.ua/v-dnepropetrovskoj-oblasti-nachali-vnedryat-principy-energoberezheniya-i-racionalnogo-otnosheniya-k-prirodnym-resursam.html>
 17. ООО «Аграрное Содружество»
<http://www.n-tech.com.ua/pages/rus-info-agrarnoe-sodruzhestvo.html>
 18. *Гумендик М.Я.* Атлас високопродуктивних біоенергетичних культур // Біоенергетика, № 2, 2013, с. 6-7.
 19. *B. Allen, B. Kretschmer, D. Baldock et al.* Space for energy crops – assessing the potential contribution to Europe’s energy future, 2014
<http://www.eeb.org/EEB/?LinkServID=F6E6DA60-5056-B741-DBD250D05D441B53>
 20. *Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Кучерук П.П., Олейник Е.Н.* Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики в Украине. Аналитическая записка БАУ №9, 2014
<http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-9-ru.pdf>
 21. Вербa енергетическая *Salix Viminalis* sp. Материалы компании ООО «Аграрное Содружество».
 22. *Блюм Я.Б., Гелетуха Г.Г., Григорюк И.П.* и др. Новейшие технологии биоэнергоконверсии. – К: «Аграр Медиа Групп», 2010. – 326 стр.
 23. *Svitlana Trybush*. Willow for Energy: Myths and Reality. Proc. of 8th International Conference on Biomass for Energy, 25-26 September 2012, Kyiv, Ukraine.
 24. *Володимир Івахів*. Енергетична верба як рішення для малих міст України
<http://ua-energy.org/post/27476>
 25. Энергетическая ива
http://bio-energy.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=836:2011-12-21-21-08-52&catid=34:2009-08-22-12-03-35&Itemid=98
 26. «Про стан та перспективи досліджень з біоенергетичних культур». Презентація Роїка М.В., директора Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків, д.с.-г.н., академіка НААН.
 27. *M.C. Heller, G.A. Keoleian, T.A. Volk*. Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system // *Biomass and Bioenergy*, N 25, 2003, p. 147-165.
 28. *Я.Д. Фучило, М.В. Сбитна, О.Я. Фучило, В.Н. Литвин*. Опыт и перспективы выращивания тополя (*POPULUS SP.L.*) в южной степи Украины // Научные труды Лесной академии наук Украины: сборник научных трудов. – 2009. Вып. 7, с. 66-69.
 29. *R. Spinelli*. Short Rotation Coppice (SRC) Production in Italy

- http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SPINELLI%202006%20Short%20Rotation%20Coppice%20Production%20in%20Italy.pdf
30. Энергетический тополь
http://bio-energy.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=838:2011-12-21-21-36-30&catid=34:2009-08-22-12-03-35&Itemid=98
 31. Poplar short rotation coppice (SRC)
http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=75,18113&_dad=portal&_schema=PORTAL
 32. *Роїк М.В., Гументик М.Я., Мамайсур В.В.* Перспективи вирощування енергетичної верби для виробництва твердого біопалива // Біоенергетика, № 2, 2013, с. 18-19.
 33. 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
 34. Planting and growing miscanthus. Best practice guidelines.
<http://adlib.everysite.co.uk/resources/000/023/838/miscanthus-guide.pdf>
 35. *М. Мельничук, В. Дубровин.* Зеленая энергия в Украине // Агросектор, № 2, 2007, с. 12-13.
 36. Энергетическая верба – экологически чистое биотопливо 21 века // Новини агротехніки, № 1, 2012, с. 26-28 (материал компании «Salix energy»).
 37. RES Legal – Legal sources on renewable energy <http://www.res-legal.eu/search-by-country/>
 38. T. Josling, D. Blandford, J. Earley. Biofuel and biomass subsidies in the U.S., EU and Brazil: towards a transparent system of notification
http://www.agritrade.org/documents/Biofuels_Subst_Web_Final.pdf
 39. A. Matthews. The CAP budget in the MFF Part 3 – Pillar 2 rural development allocations
<http://capreform.eu/the-cap-budget-in-the-mff-part-3-pillar-2-rural-development-allocations/>
 40. Second Pillar <http://www.reformthecap.eu/issues/policy-instruments/second-pillar>
 41. First Pillar <http://www.reformthecap.eu/issues/policy-instruments/first-pillar>
 42. A. Matthews. The CAP budget in the MFF. Part 2 – direct payment envelopes in Pillar 1
<http://capreform.eu/the-cap-budget-in-the-mff-part-2-direct-payment-envelopes-in-pillar-1/>
 43. T. van der Sluis, R. Poppens, P. Kraisvitnii 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
 44. Bioenergy. The multifaceted renewable energy. FNR, 2013
http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/f/n/fnr_brosch_re_bioenergie_2013_engl_web.pdf

Условные обозначения

- ВИЭ – возобновляемые источники энергии;
ВКЭ – валовое конечное энергопотребление;
ЕСП – Единая сельскохозяйственная политика;
НААН – Национальная академия аграрных наук Украины;
ТЭО – технико-экономическое обоснование;
н.д. – нет данных;

н.э. – нефтяной эквивалент;
у.т. – условное топливо;
сух. мас. – сухая масса;
сух. т – тонна сухой массы;
с/х – сельское хозяйство;
э/э – электроэнергия;
 Q_v^p – высшая теплота сгорания;
 Q_n^p – низшая теплота сгорания.

Предыдущие публикации БАУ

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

- Аналитическая записка БАУ № 1 (2012) «Место биоэнергетики в проекте обновленной Энергетической стратегии Украины до 2030 года».
- Аналитическая записка БАУ № 2 (2013) «Анализ Закона Украины «О внесении изменений в Закон Украины «Об электроэнергетике» №5485-VI от 20.11.2012».
- Аналитическая записка БАУ № 3 (2013) «Барьеры для развития биоэнергетики в Украине».
- Аналитическая записка БАУ № 4 (2013) «Перспективы производства и использования биогаза в Украине».
- Аналитическая записка БАУ № 5 (2013) «Перспективы производства электроэнергии из биомассы в Украине».
- Аналитическая записка БАУ № 6 (2013) «Перспективы производства тепловой энергии из биомассы в Украине».
- Аналитическая записка БАУ № 7 (2014). «Перспективы использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине».
- Аналитическая записка БАУ № 8 (2014). «Энергетический и экологический анализ технологий производства энергии из биомассы».
- Аналитическая записка БАУ № 9 (2014). «Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики 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

