



УДК 620.92

А.В. ЭПИК, аспирант, инженер II категории,

С.М. ЧАПЛЫГИН, инженер I категории, Е.Н. ОЛЕЙНИК, младший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ В УКРАИНЕ

Работа посвящена исследованию наиболее применимых технологий производства энергии из биомассы, в частности, для теплоснабжения и производства электроэнергии, включает анализ факторов, непосредственно влияющих на внедрение той или иной технологии использования биомассы. Это дает возможность в ближайшем будущем идентифицировать ряд приоритетных направлений реализации технологий получения энергии из биомассы в Украине.

Ключевые слова: биоэнергетические технологии, биотопливо, котлы на биомассе, ранжирование, факторы применимости, уровень коммерциализации.

Сокращение потребления природного газа, развитие энергосбережения и решение экологических проблем входят в число основных приоритетных задач, которые стоят сегодня перед Украиной. Эффективность использования энергии неразрывно связана с диверсификацией энергетических ресурсов, основным из которых, традиционным для Украины, является природный газ (ПГ). Его доля в общем первичном энергобалансе составляет 40 % (табл. 1). Кроме того, внутренняя добыча природного газа в Украине удовлетворяет собственным потребностям только на 35 %, остальные 65 % – это импортируемый газ, главным образом из России. Вклад возобновляемых источников энергии (ВИЭ) составляет 2,7 %, и только 0,5 % производства первичной энергии в Украине приходится на биомассу. Такая ситуация создает энергетическую зависимость и снижает энергетическую безопасность страны.

Таблица 1 – Структура потребления первичных энергоресурсов в Украине и в мире в 2009 г., %

Топливо	Мир	Украина	Страны ЕС-15	США
Природный газ	21	39,5	22	24
Нефть	35	11,8	41	28
Уголь	23	28,0	16	23
Уран	7	18,0	15	8
ВИЭ	14	2,7	6	7

С другой стороны, цена импортируемого природного газа постоянно растет – в пять раз за пять лет (с 60 долл. США в 2005 г. до 305 долл. США в первом квар-

тале 2010 г.) [1]. Такое резкое увеличение цены природного газа, а также его большая доля в энергобалансе Украины по сравнению с другими странами создают предпосылки для развития возобновляемых источников энергии.

Украина обладает значительным потенциалом возобновляемых источников энергии, лидирующее место среди которых принадлежит биомассе. Общий потенциал биомассы в стране оценивается на уровне 27–35 млн т у.т. (в зависимости от годовой урожайности [2]), покрывая потенциально около 15 % общего потребления первичных энергоресурсов (по состоянию на 2009 г.). Географическое расположение Украины – главным образом в степной и лесостепной зонах (средняя лесистость составляет 14,7 % [3]), – и традиционно высокая аграрная экономическая составляющая обуславливают приоритетность отходов сельского хозяйства и, в перспективе, энергетических культур как основных источников биомассы. Поэтому в данной работе проведены анализ и сравнение технологий утилизации твердой биомассы, имеющей наибольший потенциал использования в условиях Украины.

Особенности утилизации биомассы. Главное преимущество биомассы – относительная дешевизна по сравнению с ископаемыми топливами, в частности с природным газом. Это подтверждается простым расчетом стоимости единицы энергии для каждого типа топлива (грн/ГДж) с использованием стандартных значений низкой теплотворной способности (LCV) и коммерческой стоимости биотоплива, установленной между его производителями и потребителями. Результаты такого анализа приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Сравнение стоимости энергии в твердой биомассе и в природном газе

Топливо	Цена грн/т	LCV МДж/кг	Стоимость энергии в топливе грн/ГДж	Соотношение стоимости энергии в ПГ к стоимости энергии в других топливах			
				ПГ для промышленности и бюджетных организаций		ПГ для жилищно-коммунального сектора	
	до 1.08.10	на 1.08.10	до 1.08.10	на 1.08.10			
Отходы древесины	50	11	4,5	15,2	16,5	5,5	8,2
Дрова (щепы)	250	11	22,7	3,0	3,3	1,1	1,6
Пеллеты (дровяные)	800	17	47,1	1,5	1,6	0,5	0,8
Брикеты (дровяные)	700	15	46,7	1,5	1,6	0,5	0,8
Солома в тюках	300	13	23,1	3,0	3,2	1,1	1,6

Правая часть таблицы показывает соотношение энергетических стоимостей при сжигании ПГ и биотоплив для различных вариантов. Как известно, в Украине цена природного газа колеблется в зависимости от сектора его использования. Например, цена газа для жилищно-коммунального сектора до 1.08.2010 г. составляла приблизительно 900 грн/1000 м³, в то время как для промышленности и бюджетных организаций – более 2400 грн/1000 м³. Колонки «до» и «на» 1.08.2010 г. означают повышение тарифов на природный газ на 50 % для жилищно-коммунального сектора и на 30 % – для населения.

С практической точки зрения, замещение природного газа биотопливом экономически рентабельно при соотношении стоимостей энергии природного газа и биотоплива, превышающем 2,5. Такие критерии соответствуют максимальному значению уровня коммерциализации (1 или 100 %) и сроку окупаемости технологии в результате замещения природного газа – менее 4 лет. Безусловно, до повышения цен на газ потенциально экономически выгодными могли быть проекты по энергетическому использованию тюкованной соломы, отходов древесины и топливных дров, щепы только в промышленном и бюджетном секторах. Что касается жилищно-коммунального сектора, то даже после 50-процентного увеличения тарифов на ПГ единственной экономически обоснованной операцией по энергетическому использованию отходов биомассы является использование неподготовленных отходов древесины с ценой менее 50 грн/т или собственных отходов древесины. Такая цена невозможна в текущих рыночных условиях.

Отдельным случаем экономически выгодного энергетического использования отходов древесины является утилизация собственных промышленных отходов, фактически являющихся бесплатным топливом. Другие альтернативы экономически не оправданы при текущих тарифах на природный газ – их внедрение может ожидаться не ранее, чем после двукратного увеличения стоимости ПГ. Небезынтересен косвенный вывод из такого

анализа, объясняющий причину экспорта в ЕС пеллет и брикетов, производимых на территории Украины: экспорт – экономически более выгодная альтернатива по сравнению с утилизацией внутри Украины.

Следует учесть, авторами не проводился анализ влияния на экономические показатели факторов логистики биомассы, организации хранения, складирования и т.п., учет которых, очевидно, приведет к существенному удорожанию энергетической стоимости биомассы. Таким образом, биомассу как топливо целесообразно использовать вблизи от мест ее сбора и хранения. Согласно экспертным оценкам, максимальное практически обоснованное расстояние, на которое экономически неубыточно транспортировать неподготовленную биомассу ввиду ее низкой энергетической плотности, не должно превышать 50–100 км.

Краткий анализ применимости ряда технологий энергетического использования биомассы следует дополнить более подробным рассмотрением каждой из них в отдельности.

Экономические показатели использования биомассы для теплоснабжения. Исходя из заключения о том, что внедрение соломо- и древесносжигающего оборудования для производства энергии является наиболее приемлемой альтернативой в условиях Украины при текущих ценах на энергоносители практически для любых энергетических объектов, рассмотрим и конкретизируем технологии энергетического использования биомассы с точки зрения их экономической целесообразности в секторе теплоснабжения.

Древесносжигающие котлы для отопления. Первой рассматриваемой альтернативой является отопительный котел на древесине. Типовые характеристики такого оборудования представлены в табл. 3. Из практики – средняя необходимая тепловая мощность для отопления одного домохозяйства составляет 10 кВт. Пересчет на потребление топлива дает возможность оценить источник окупаемости – замещение природного газа. Учитывая текущие цены на природный газ для



населения (1098 грн/1000 м³), экономический эффект от внедрения рассматриваемой технологии только за счет замещения природного газа оценивается на уровне 3200 грн ежегодно. Однако единоразовые капитальные затраты по установке древесносжигающего котла указанной мощности составляют, согласно коммерческим ценам, 6200 грн и являются относительно высокими для среднестатистического жителя Украины.

Таблица 3 – Экономические показатели древесносжигающего водогрейного котла малой мощности при использовании в домохозяйствах

Показатели	Единица измерения	Величина
Тепловая мощность котла	кВт	10
Низшая теплотворная способность	МДж/кг	14
Потребление топлива	т/год	8,6
Эквивалентное потребление газа	1000 м ³ /год	3,0
Коммерческая цена топливной древесины*	грн/т	250
Цена газа для населения	грн/1000 м ³	1 098
Капитальные затраты	тыс. грн	6,2
Затраты на топливо: древесина	тыс. грн/год	2,1
газ для населения	тыс. грн/год	3,2
Экономия за счет замещения ПГ	тыс. грн/год	1,1
Срок окупаемости	лет	5,6

* – цены не включают затрат на подготовку древесины к сжиганию

Кроме того, пользователю необходимо нести затраты на обслуживание оборудования и на покупку качественного топлива. Согласно коммерческим данным, эта часть расходов составляет 2100 грн/год. С учетом всех составляющих, примерный срок окупаемости данной технологии за счет экономии природного газа – 5,6 года. Очевидно, что только ограниченное число жителей Украины может воспользоваться технологией с таким сроком возврата средств, а следовательно, подобные проекты без поддержки населения, в частности посредством государственного субсидирования в форме предоставления кредита на покупку оборудования или налоговых преференций, не будут развиваться. Другим стратегическим ходом для повышения коммерческой ценности таких проектов может быть, с одной стороны, государственная программа по внедрению водогрейных котлов малой мощности на биомассе, с другой стороны – повышение цен на газ для населения, как минимум, на 50 % (посредством отмены субсидирования закупочных цен на природный газ), а также комбинация этих мероприятий.

Котлы фермерского типа для сжигания тюкованной соломы. Водогрейный котел фермерского типа мощностью до 1 МВт предназначен для сжигания тюкованной соломы в фермерских хозяйствах и средних домовладениях. Типовые характеристики котлов мощностью 250 кВт и 860 кВт представлены в табл. 4. Целесообразность анализа котлов выбранных параметров предопределена тем, что прототипы котлов такой мощности уже изготавливаются, внедрены и работают на предприятиях Украины. Все используемые в расчете величины основаны на реальных коммерческих показателях. Технология может быть выгодно реализована в бюджетных организациях, в секторе коммунального теплоснабжения, на промышленных предприятиях. Именно сектор внедрения оказывает ключевое влияние на экономическую рентабельность технологии из-за большого диапазона цен на газ для различных категорий потребителей. Например, при внедрении соломосжигающего котла мощностью 250 кВт в секторе коммунального теплоснабжения срок окупаемости составит 6,7 года, а в случае внедрения в секторе финансируемых из бюджета организаций – 1,7 года. Такие расхождения в значениях полностью коррелируются с тарифами на природный газ для двух секторов: 1309 грн/1000 м³ – для коммунального сектора и 2624 грн/1000 м³ – для промышленности и бюджетных организаций. Ввиду уменьшения удельных капитальных затрат на 1 кВт установленной мощности с увеличением производительности оборудования срок окупаемости соломосжигающего котла мощностью 860 кВт при его установке в бюджетных организациях составит, согласно расчетам, один отопительный сезон (0,9 года). По оценкам Института технической теплофизики НАНУ, рыночный объем котлов данного типа (с диапазоном мощности 0,1–1 МВт) составляет не менее 10 000 единиц со средним значением общей установленной мощности 2 ГВт.

Таблица 4 – Экономические показатели утилизации тюкованной соломы в водогрейных котлах фермерского типа (с замещением природного газа)

Показатель	Единица измерения	Величина	
Тепловая мощность котла	кВт	250	860
Низшая теплотворная способность	МДж/кг	13	
Потребление топлива (солома в тюках)	т/год	275	947
эквивалентное потребление газа	1000 м ³ /год	98	336
Цена соломы	грн/т	300	
Тариф на газ для сектора коммунального теплоснабжения	грн/1000 м ³	1 309	

Таблица 4 – Продолжение

Показатель	Единица измерения	Величина	
Тариф на газ для промышленности и финансируемых из бюджета организаций	грн/1000 м ³	2 624	
Капитальные затраты (оборудование+проектные работы+установка)*	тыс. грн	300	535
Затраты на топливо (солома в тюках)	тыс. грн / год	83	284
Газ для сектора коммунального теплоснабжения	тыс. грн / год	128	439
Газ для промышленности и финансируемых из бюджета организаций	тыс. грн / год	256	880
Экономия за счет замещения покупного ПГ			
• сектор коммунального теплоснабжения	тыс. грн / год	45	155
• промышленность и бюджетные организации	тыс. грн / год	173	596
Срок окупаемости			
• сектор коммунального теплоснабжения	лет	6,7	3,4
• промышленность и бюджетные организации	лет	1,7	0,9

* – капитальные затраты не учитывают стоимость строительства складов топлива, транспортировки, подготовки площадки и обслуживания

Использование биомассы для производства электроэнергии. Рассмотренные технологии получения тепловой энергии из биомассы, важным источником дохода от которых является замещение природного газа с четко прослеживаемой взаимосвязью между сроком окупаемости и фактической ценой закупки природного газа, несмотря на значительный потенциал и высокую экономическую привлекательность, имеют в Украине альтернативу – производство электроэнергии из возобновляемых источников, в т.ч. биомассы. Эта технология доступна с 1 апреля 2009 г. с принятием так называемого «зеленого» тарифа, который устанавливается на любую электроэнергию, произведенную на объекте электроэнергетики из возобновляемых источников энергии и поставленную в энергосистему. Использование биомассы в качестве топлива для производства электроэнергии может оказаться экономически более целесообразным после принятия «зеленого» тарифа за счет дополнительного источника дохода от продажи «зеленой» электроэнергии. На данный момент в Украине право на продажу электроэнергии по «зеленому» тарифу получили 44 энергогенерирующих объекта, из которых 5 ветро-

вых электростанций (ВЭС), 2 ТЭЦ на биомассе (ОАО «Кировоградолія» и ООО «Смелазенергопромтранс»), 6 солнечных электростанций, 31 ГЭС. Такие показатели свидетельствуют о серьезной заинтересованности украинских компаний в производстве электроэнергии из возобновляемых источников, поэтому в данной работе представлены (на базе ТЭЦ) экономические показатели производства электроэнергии на биомассе как наименее развитой на данный момент технологии, однако обладающей значительным потенциалом, реализация которого ожидается в ближайшем будущем.

Для установок, сжигающих биомассу для производства электроэнергии, устанавливается фиксированное минимальное значение «зеленого» тарифа на уровне 1,39 грн/кВт.час. Несмотря на некоторые недоработки и наличие ошибок в содержательной части закона о «зеленом» тарифе, величина «зеленого» тарифа является одной из наивысших в Европе. Например, в Германии, одной из стран-лидеров ЕС по использованию возобновляемых источников для производства энергии, «зеленый» тариф на электроэнергию из биомассы установлен на уровне 7–14,5 евро-центов/кВт.час. В то же время в Украине общий тариф для промышленных потребителей по второму классу напряжения по состоянию на 1 января 2011 г. составлял 0,72 грн/кВт.час.

Авторами проведен анализ технологий получения электроэнергии из биомассы на базе ТЭЦ и совместного сжигания с ископаемыми топливами. Рассматриваемые варианты представляют собой полную или частичную реконструкцию существующей ТЭЦ в ТЭЦ, работающую на биомассе, а также сооружение такой ТЭЦ с нуля. Первый вариант особенно актуален в условиях Украины ввиду превышения ресурса эксплуатации существующих ТЭЦ и наличия устаревшей материально-технической базы. Краткий экономический анализ трех вариантов представлен в табл. 5.

Экономическая оценка проводилась для установленной мощности 12 МВт. Первый вариант как наиболее практически реализуемый был разделен на два под-варианта: реконструкция и работа в режиме ТЭЦ, а также работа в конденсационном режиме (ТЭС), что отображено в строке «тепловая мощность» (табл. 5). Очевидно, экономическая оправданность режима ТЭЦ более высока, так как в части доходов присутствует добавка от продажи тепловой энергии, однако это влияние не столь велико вследствие кумулятивного эффекта доходов от продажи электроэнергии, перекрывающих как доходы от продажи теплоты, так и доходы от экономии природного газа. Кроме того, работа в режиме ТЭЦ снижает электрический КПД по сравнению с конденсационным циклом из-за технологических особенностей рабо-



Таблица 5 – Краткий экономический анализ реконструкции/сооружения ТЭЦ, работающей на биомассе, с замещением природного газа

Показатель	Единица измерения	Реконструкция существующей ТЭЦ		Новая ТЭЦ на биомассе
Установленная электрическая мощность на генераторе	МВт	12,0		
Тепловая мощность	МВт	40	0	40
Низшая теплотворная способность	МДж/кг	12		
Потребление топлива (щепа, измельченная солома)	т/год	230 040	118 973	230 040
эквивалентное замещение природного газа	1000 м ³ /год	72 870	37 687	72 870
Количество произведенной «зеленой» электроэнергии	МВт·час/год	77 760		
Количество электроэнергии на собственные нужды	МВт·час/год	13 997	13 997	13 997
Сокращение выбросов парниковых газов (СО ₂ -экв.)	т СО ₂ -экв./год	133 198	62 833	133 198
Доходы от продажи электроэнергии по «зеленому» тарифу (без НДС)	грн/МВт·час	1 390,0		
Стоимость электроэнергии из сети на собственные нужды (без НДС)	грн/МВт·час	720,0		
Стоимость топлива (щепа, измельченная солома)	грн/т	250		
Тариф на тепловую энергию	грн/Гкал	200		
Капитальные затраты*	тыс. грн	120 000		300 000
удельные капитальные затраты	евро/кВт	1 000		2 500
Эксплуатационные затраты	тыс. грн/год	67 375	39 608	67 375
Доходы**	тыс. грн/год	149 130	104 556	149 130
Простой срок окупаемости	лет	1,5	1,8	3,7

* – капитальные инвестиции на реновацию включают установку котла для сжигания биомассы, строительство склада топлива, систем подачи топлива, систем золошлакоудаления и очистки дымовых газов
 ** – не учитываются доходы от продажи единиц сокращений выбросов (ЕСВ) в рамках Киотского протокола

ты оборудования (например, из-за разных типов турбин: конденсационной – для ТЭС и с противодавлением – для ТЭЦ). Следует отметить, что удельные капитальные затраты при реконструкции существующей ТЭЦ равны 1000 евро/кВт. Простой срок окупаемости (без учета дисконтирования) с учетом принятых величин и допущений составляет для ТЭЦ – 1,5 года, для ТЭС – 1,8 года.

Новая ТЭЦ, работающая на биомассе как альтернатива реконструкции существующих ТЭЦ, – менее осуществимый, однако экономически обоснованный и реалистичный вариант. Реализация этой технологии предполагается вслед за началом реконструкции существующих ТЭЦ в промышленном секторе. Экономическая оценка технологии проведена с допущением величины удельных капитальных затрат на уровне 2500 евро/кВт установленной мощности. При такой удельной стоимости простой срок окупаемости составляет 3,7 года, однако реальные затраты могут более чем в два раза превышать эту величину. Продажа единиц сокращений выбросов может некоторым образом улучшить экономические показатели таких проектов, однако доля от общих инвестиций, полученная в результате продажи квот в рамках Киотского протокола, является достаточно низкой (10–20 % от общих капитальных затрат). Тем не менее, проанализированные варианты производства элек-

троэнергии из биомассы имеют значительный потенциал и отличные экономические показатели (срок окупаемости – менее 4 лет в текущих условиях), поэтому развитие данного сектора можно ожидать в ближайшем будущем, что будет продиктовано прежде всего экономической составляющей и технологической необходимостью.

ВЫВОДЫ

В Украине созданы серьезные предпосылки и имеется значительный потенциал для динамического развития биоэнергетического сектора. Основными движущими силами этого процесса являются стремительный рост цен на энергоносители и наличие потенциала биомассы (одного из наибольших в Европе), доступного для энергетического использования. Законодательная часть биоэнергетического сектора создана, хотя и требует доработки, – закон о «зеленом» тарифе открывает возможности для реализации проектов по производству электроэнергии из биомассы.

Проведенный анализ основных типов биоэнергетических проектов в настоящих условиях Украины показал, что:

- использование биомассы для теплоснабжения может быть экономически целесообразным в бюджет-

- ных организациях и промышленном секторе за счет более высоких тарифов на природный газ по сравнению с тарифами в коммунальном секторе и для населения; населению может быть рекомендовано использование небольших (мощностью до 10 кВт) водогрейных котлов;
- использование биомассы для производства электроэнергии является экономически обоснованным как при строительстве ТЭЦ с нуля (срок окупаемости проекта составляет 3,7 года – в основном за счет продажи электроэнергии по долгосрочному фиксированному «зеленому» тарифу), так и при реконструкции существующих ТЭЦ (срок окупаемости – от 1,5 до 1,8 года). Приоритетными секторами для реализации проектов по реконструкции могут быть промышленность и энергетика, где используется наиболее устаревшее оборудование, требующее неотложной замены или реновации.
 - Мерами по ускорению развития биоэнергетического сектора могут быть:
 - государственные субсидии (компенсации) для предприятий или населения на уровне 20 % возмещения начальных капитальных затрат;
 - налоговые преференции – например, освобождение от НДС или налога на прибыль всех производителей и пользователей биоэнергетического оборудования;

- введение упрощенной налоговой процедуры для населения при реализации биоэнергетических проектов;
- принятие государственной целевой программы по развитию биоэнергетики с четко зафиксированными целями по доле возобновляемых источников энергии в общем энергобалансе, как минимум, на 5 лет;
- отмена искусственного субсидирования тарифов на газ для населения и сектора коммунального теплоснабжения.

Рациональная комбинация указанных мероприятий обеспечит быстрое, экологически безопасное и устойчивое развитие биоэнергетического сектора в Украине в долгосрочной перспективе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Статистичний щорічник України, 2010 / під ред. О.Г. Осауленко. – К. : Державний комітет статистики України, 2011. – 569 с.
2. Сільське господарство України. Статистичний щорічник, 2009 / під ред. Ю.М. Остапчук. – К. : Держкомітет статистики України, 2010. – 370 с.
3. Пристая, А.Д. Лесохозяйственная политика развития древесной энергетики / А.Д. Пристая // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2010. – № 3. – С. 52–54.

Поступила в редакцию 10.04.2011

Робота присвячена дослідженню найбільш застасовуваних технологій виробництва енергії з біомаси, зокрема для тепlopостачання і виробництва електроенергії, включає аналіз факторів, що безпосередньо впливають на впровадження тієї чи іншої технології використання біомаси. Це дає можливість у найближчому майбутньому ідентифікувати ряд пріоритетних напрямів реалізації технологій отримання енергії з біомаси в Україні.

The work aimed at investigating the most applicable technologies of energy generation from biomass, particularly, for heating and power generation; it includes the analysis of the factors that directly influencing the implementation of a technology of biomass usage. So, it is possible to identify a line of priority directions of implementing in the near future the technologies for power generation from biomass in Ukraine.