

ЭМИССИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВИМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Высоцкий С.П., Иванец И.В.

Автомобильно – дорожный институт ДонНТУ, г. Горловка

АННОТАЦИЯ: в статье рассмотрены проблемы снижения выбросов углекислого газа и разные пути решения этой проблемы. Проанализированы выбросы углекислого газа предприятиями Украины. Комбинированное производство тепловой и электрической энергии позволяет повысить эффективность использования топлива и сократить выбросы углекислого газа. Рационально внедрение государственной поддержки выращивания энергетических культур.

АНОТАЦІЯ: в статті розглянуті проблеми зниження викидів вуглекислого газу та різні шляхи вирішення цієї проблеми. Проаналізовані викиди вуглекислого газу підприємствами України. Комбіноване виробництво теплової та електричної енергії дозволяє підвищити ефективність використання палива та скоротити викиди вуглекислого газу. Рациональне впровадження державної підтримки вирощування енергетичних культур.

ABSTRACT: the paper is devoted to consideration of different solutions for emission of carbon dioxide decrease. The emission of CO₂ by Ukraine enterprises is analyzed. The combine production of thermal and electric energy on industrial boilers at enterprises allow to increase efficiency of fuel utilization and decrease the carbon dioxide emission. The agriculture energy culture grow is needed by state support.

Проблема загрязнения окружающей среды парниковыми газами и связанная с ней проблема изменения климата уже давно беспокоит мировую общественность. Необходимость сокращения общемировых выбросов парниковых газов послужила основой принятия Киотского протокола, который устанавливает уровни выбросов для стран,

подписавших Рамочную конвенцию ООН об изменении климата. Согласно Киотскому протоколу общемировые выбросы парниковых газов должны были сократиться к 2008 году на 5% от уровня 1990 года, однако это сокращение выбросов происходит в значительно меньшем объеме.

Основными источниками выбросов диоксида углерода в окружающую среду являются предприятия большой и малой энергетики. Масса оксида углерода, поступающего в атмосферу, непрерывно увеличивается в соответствии с ростом энергопотребления [1]. Приведенный на рис.1 график показывает, что рост удельного энергопотребления подчиняется экспоненциальному закону и значительно опережает рост численности населения.

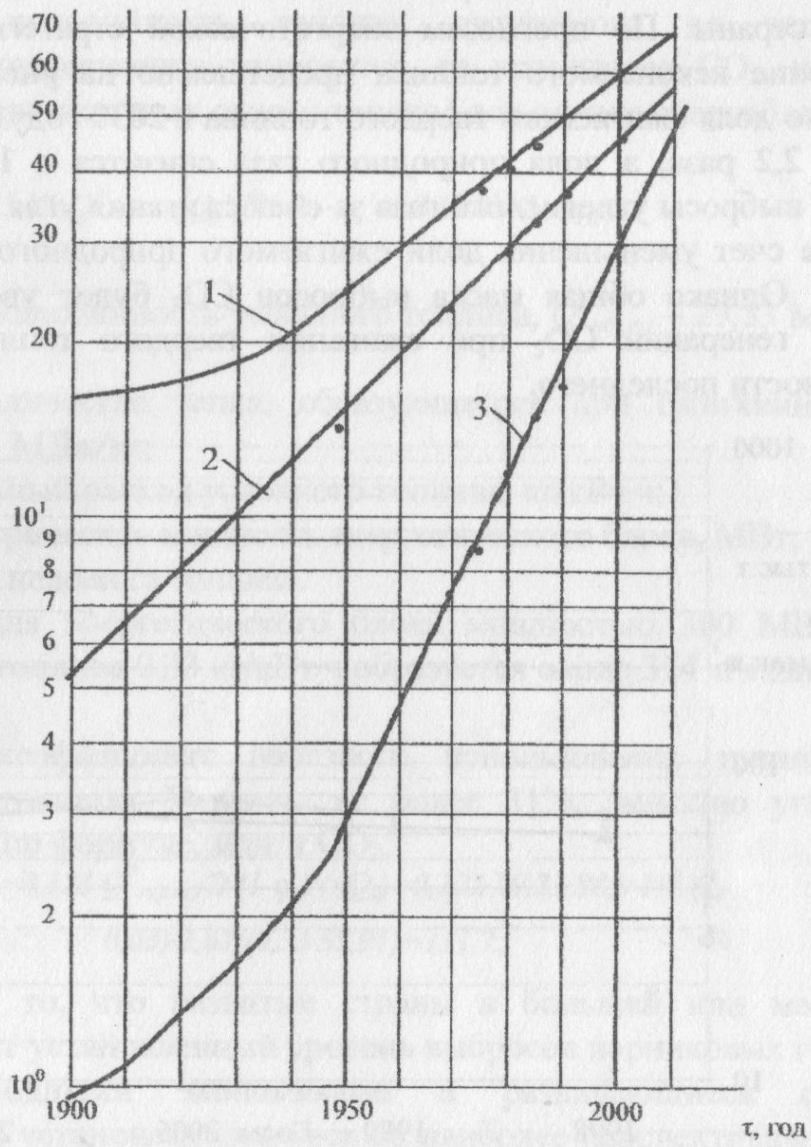


Рисунок 1 – Изменение численности населения Земли, потребления энергоресурсов и удельного энергопотребления

1 – народонаселение, млрд. чел. · 10¹; 2 – удельное энергопотребление, т.у.т. · 10⁻¹ чел.; 3 – потребление ТЭР, млрд. т.у.т.

Основные генераторами диоксида углерода до недавнего времени были сосредоточены в США. Однако по данным голландского экологического агентства выбросы парниковых газов в 2006 году в Китае уже составили 6200 млн. тонн, а в США – 5800 млн. тонн. Существенное повышение выбросов в Китае и развивающихся странах в первую очередь обусловлено использованием низкоэффективных технологий сжигания топлива.

В нашей стране предполагается увеличение эмиссии углекислого газа в основном за счет прогнозируемого изменения стратегии сжигания твердого и газообразного топлива.

Значительное повышение цены природного газа вызывает необходимость поиска альтернативных источников топлива в тепловом балансе страны. По прогнозам энергетической стратегии Украины [2] потребление ископаемого топлива представлено на рис. 2. Из рисунка видно, что доля сжигаемого твердого топлива к 2030 году будет увеличена почти в 2,2 раза, а доля природного газа снизится в 1,54 раза. Таким образом, выбросы углекислого газа за счет сжигания угля увеличатся в 2,2 раза, а за счет уменьшения доли сжигаемого природного газа снизятся в 1,4 раза. Однако общая масса выбросов CO_2 будет увеличена за счет большей генерации CO_2 при сжигании твердого топлива и меньшей калорийности последнего.

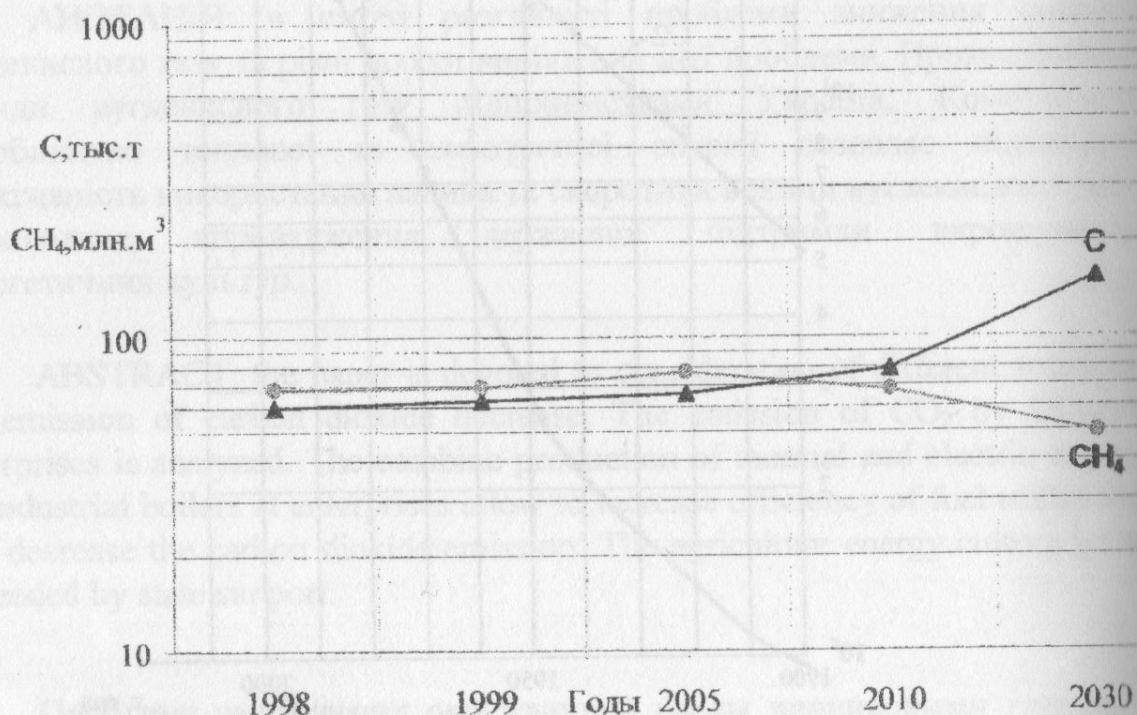


Рисунок 2 – Темпы потребления ископаемого топлива в Украине.

Для определения массы CO_2 , поступающего в атмосферу в результате сжигания топлива, наиболее часто используют следующее выражение:

$$M_{\text{CO}_2} = C_n \cdot B \cdot \gamma_n \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot 10^{-3}, \text{ т/ч}; \quad (1)$$

где C_n – коэффициент, характеризующий выход CO_2 для твердого топлива (3,67) и газообразного топлива (2,75);

B – расход топлива, т/ч;

γ_n – поправочный коэффициент, учитывающий режим сжигания;

q_4 – потери тепла от механической теплоты сгорания топлива, %.

Поскольку калорийность топлива, сжигаемого на тепловых электростанциях, существенно изменяется, то количество CO_2 , которое образуется за 1 ч при сжигании сухого топлива для одного энергоблока [3]:

$$G = 3,67(Q_{n(y,m)}^p / Q_0)BN(1 - q_n) = 3,17BN(1 - q_n), \quad (2)$$

где $Q_{n(y,m)}^p$ – калорийность условного топлива, $Q_{n(y,m)}^p = 29,33$ МДж/кг (7000 ккал/кг);

Q_0 – количество тепла, образующегося при сжигании 1 кг углерода, $Q_0 = 33,91$ МДж/кг;

B – удельный расход условного топлива, кг/кВт·ч;

N – электрическая мощность энергетического блока, МВт;

q_n – доля недожога топлива.

Например, для энергетического блока мощностью 300 МВт при удельном расходе топлива 0,33 кг/кВт·ч образуется около 314 т/ч диоксида углерода.

Поскольку коэффициент полезного использования топлива на тепловых электростанциях Украины не более 31%, эмиссию углерода можно определить по формуле, млн. т CO_2 :

$$G = 0,123 Q_{n(y,m)}^p \cdot \frac{1 - q_n}{(n Q_0)} = 0,123 \cdot 29,33 \cdot 88,9 \cdot 10^6 \cdot (1 - 0,03) \cdot 3,67 / (0,33 \cdot 33,91) = 111,7.$$

Учитывая то, что развитые страны в большей или меньшей степени превышают установленный уровень выбросов парниковых газов, а страны с переходными экономиками и развивающиеся страны выбрасывают ниже установленного уровня, наиболее перспективным стал рыночный подход к решению проблемы изменения климата. Такой подход позволяет перераспределять квоты на выбросы парниковых газов на взаимовыгодных условиях и выполнять обязательства по сокращению эмиссии промышленными странами [4].

Один из механизмов снижения выбросов парниковых газов заключается в покупке избытка квоты у стран, в которых уровень выбросов парниковых газов ниже установленного. Схема передачи единиц установленного количества (ЕУК) представлена на рис. 3.

ПЕРЕДАЧА ЕДИНИЦ УСТАНОВЛЕННОГО КОЛИЧЕСТВА (ЕУК)

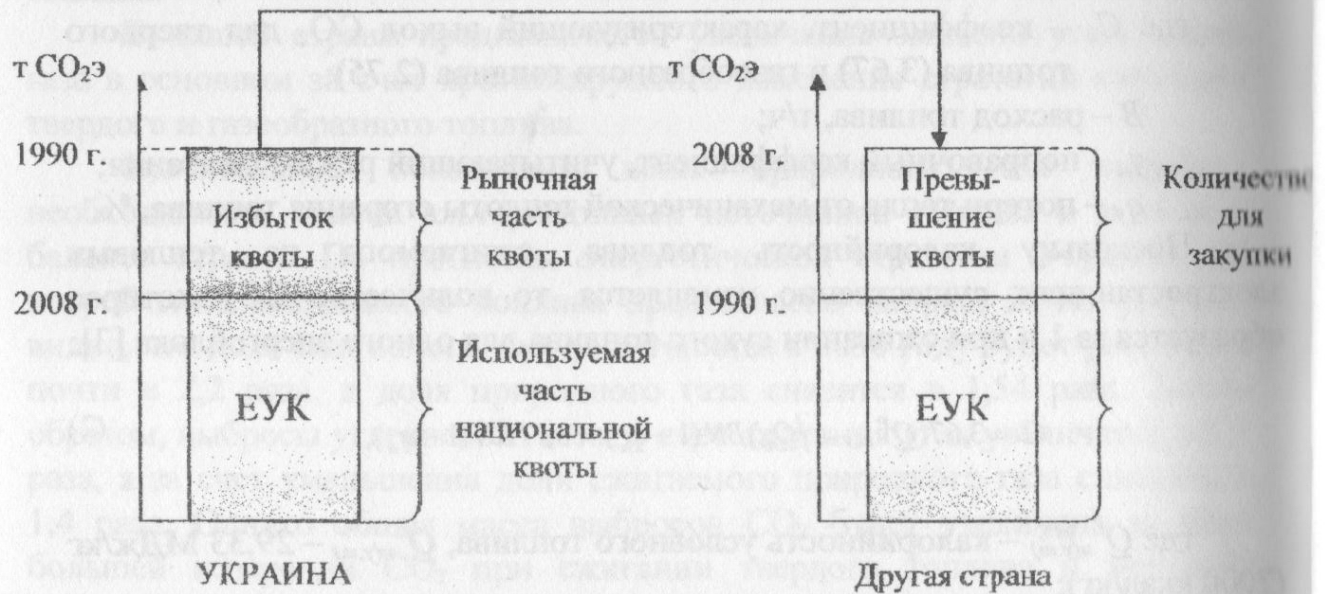


Рисунок 3 – Схема, иллюстрирующая международную торговлю выбросами

ПЕРЕДАЧА ЕДИНИЦ СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ (ЕСВ)



ЕУК* - единицы установленного количества

Рисунок 4 – Техническая схема передачи ЕСВ посредством механизма совместного осуществления (СО).

Согласно другому механизму сокращения выбросов парниковых газов стороны могут выполнять совместные проекты по модернизации предприятия. За счет финансирования проектов, которые направлены на дополнительное снижение выбросов, инвестор получает Единицы Сокращения Выбросов (ЕСВ). Схема передачи ЕСВ, основанная на механизме совместного осуществления, представлена на рис. 4.

В Украине заложена правовая основа для выполнения проектов СО и международной торговли выбросами. Однако на сегодняшний день национальное законодательство по торговле выбросами несовершенно, поэтому процесс реализации проектов СО проходит достаточно медленно.

Примером положительной практики использования квот являются страны Европейского союза: Австрия, Швеция, Германия. На деревообрабатывающих предприятиях общепринятыми являются направления повышения эффективности производства путем уменьшения количества складываемых отходов и получения „зеленой” энергии [5].

Комбинированное получение тепла и энергии осуществляется на установке, введенной в эксплуатацию в компании M'treals Hallein (Австрия), специализирующейся на получении бумаги. Установка имеет мощность 21 МВт и позволяет получить технологическое тепло в виде пара, 5 МВт электроэнергии, которую можно направлять в электрическую сеть. В настоящее время предприятие использует различные источники получения тепла и пара. Котлы производят 100 т/час пара, используя отходы, образующиеся в процессе получения бумаги. При этом обеспечивается возможность работы на нескольких видах топлива: указанном отходе, нефти и газе. Установка производит 75 т/час пара. Кроме того, на предприятии установлены четыре дополнительных паровых котла, работающие на ископаемом топливе. Они производят 30 т/час пара.

Новая установка комбинированного получения тепла и энергии (КТЭ) позволит заменить четыре существующих паровых котла. В качестве топлива используются шламы от технологического процесса, щепы и кора, получаемые в результате переработки сырья, и другие остатки. Для новой топливной установки ежегодно потребуется 250000 м³ остатков и древесины, поставляемой за 70 км. При этом количество отходов достаточно для обеспечения котлов топливом, а сжигание их в новой установке КТЭ уменьшит количество складываемых отходов.

Решение о строительстве новой установки было экономически целесообразным, и вписывается в программу торговли эмиссиями СО₂ на европейском рынке. Согласно указанной программе для каждого деревообрабатывающего и бумажного производства установлены годовые квоты на выбросы СО₂, как и для всех электростанций и производств, включая цементные производства. На предприятия, которые превышают годовую квоту на выброс, накладываются штрафные санкции. Между

европейскими странами осуществляется торговля квотами на выбросы, при этом указанная торговля обеспечивает экономические стимулы для производств, которые снизили эмиссию CO₂.

По схемам торговли выбросами CO₂ ежегодные выбросы CO₂ рассматриваемого производства в ближайшие три года составят 400 кт/год. Из них 118 кт образуется при сжигании ископаемого топлива. Стоимость новой установки КТЭ оценивается в 35 млн. € (45 млн. \$). Предполагаемое снижение эмиссии CO₂ составит до 38 кт/год. Плата за снижение выбросов оценивается приблизительно в 10€/т. Это обеспечит дополнительный возврат средств за счет торговли по схеме в сумме 380000 €.

Вторым источником прибыли является выработка 5 МВт „зеленой“ (экологически чистой) электроэнергии, поставляемой в местную электрическую сеть. В некоторых странах полученная энергия главным образом используется на производстве, но согласно австрийским нормам она должна поставляться в местную сеть, и потребитель покупает ее для удовлетворения производственных нужд. Поставка „зеленой“ энергии также приносит выгоду предприятию. Предприятие покупает электроэнергию по цене 60€/МВт, поскольку пользуется экологической субсидией от экспорта, а продает воспроизведенную электроэнергию по цене 150 €/МВт.

Основным партнером по строительству нового предприятия является Австрийский департамент Энергии и окружающей среды, который обеспечивает поставку котлов с циркулирующим кипящим слоем, отдельных элементов паровой турбины и хозяйства по подготовке биомассы к сжиганию. Установка находится в эксплуатации с весны 2006 года.

Вторая деревообрабатывающая компания Биллеруд инвестирует около 115 млн.€ в существующие тепловые электрические станции, которые обеспечивают электрической энергией и паром три предприятия. При этом существующие топочные устройства котлов реконструированы с заменой технологии сжигания на колосниковых решетках на технологию сжигания биомассы в кипящем слое. На трех ТЭС предполагается также установка трех новых паровых турбин.

Kvaerner Power стал крупным поставщиком энергетических котлов, предназначенных для сжигания биотоплива, и рекуперационных котлов для деревообрабатывающих и бумажных производств. Он произвел более 130 котлов с кипящим слоем и 60 котлов с циркулирующим кипящим слоем. Согласно мнению специалистов компании рекомендуется использовать котлы с кипящим слоем (КС) для низкокалорийных топлив, таких как биомасса, а котлы с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) – для топлив с высокой теплотворной способностью, в том числе и угля.

Котлы с КС разработаны для производства энергии из биомассы и топлив, получаемых из отходов и способных обеспечить генерацию мощности от 200 МВт до 300 МВт (тепловых). Разработки подобного рода начались в 1970 г. с совершенствования технологии сжигания древесных отходов и шламов. Первый промышленный котел с кипящим слоем был введен в эксплуатацию в середине 1980-х гг. и с тех пор указанная компания начала поставку относительно мощных установок. Основным новым техническим решением при разработке котлов с кипящим слоем в середине 1990-х было оборудование топки со шлюзовой камерой с гидроприводом, позволяющей удалять золу (отходы процесса горения) из топки. Самый большой в мире котел для сжигания биомассы в кипящем слое установлен на деревообрабатывающем и бумажном производстве в Финляндии в 2002 г. Для котла мощностью 269 МВт в качестве топлива используют кору, древесные опилки, шлам и торф.

Котлы с ЦКС, работающие на биомассе, вторичном топливе и угле, вырабатывают от 50 до 600 МВт тепловой энергии. Основным элементом в этих котлах является циклон, благодаря которому твердый материал рециркулирует в нижнюю часть топки. Самые мощные в мире паровые котлы, в которых биомасса сжигается в ЦКС имеют тепловую мощность 550 МВт. В качестве источников топлива электростанции используют кору из соседних деревообрабатывающих и бумажных производств, древесные опилки региональных деревообрабатывающих заводов, ветки, образующиеся в результате вырубki леса и торф.

При выборе программы реконструкции существующих на предприятиях тепловых электрических станций принимались во внимание: степень удовлетворения потребностей за счет собственной электроэнергии, потребность в тепловой энергии и наличие необходимого количества исходного сырья. При реконструкции сырьем для производства энергии являются кора, древесные опилки и другие отходы.

Большинство этих материалов уже использовались для получения пара и энергии, однако мощность существующих турбин не позволяла полностью утилизировать отходы в виде топлива. Новые турбины имеют электрическую мощность 40 МВт, что снижает потребность в приобретаемой электрической энергии на 30-40% от необходимой потребности вместо существующего уровня приобретения энергии – 60%. Увеличена производительность по пару, а его давление повышено до 60 бар.

Все количество энергии и пара, производимого на новом оборудовании, используется на заводе. Получаемые субсидии на производство возобновимых источников не зависят от того, что энергия поступает на рынок или используется на предприятии. Обычно правительство предоставляет субсидию в размере 3 €/МВт·ч

электроэнергии, полученной за счет сжигания биомассы, что позволяет при производстве электроэнергии на установке 40 МВт в течение 8000 часов получать ежегодную субсидию около 1 млн. €. Ожидаемый период окупаемости новых установок составляет от 4 до 5 лет.

Примером экологического подхода и экономии энергоресурсов является также немецкий деревообрабатывающий завод в Стендале, который введен в эксплуатацию в конце 2004 г. При этом котел типа „Ecofluid“ Австрийского департамента Энергии и Окружающей среды обеспечил почти всю необходимую потребность завода в паре и электроэнергии. В качестве топлива в котле используют в основном биомассу, из нее 70-80% кора и отходы, а также ненужные остатки производственного процесса, а электрическая энергия из локальных сетей практически не используется. Согласно законам о возобновимых источниках энергии, принятым в Германии, регламентирован фиксированный тариф 85 €/МВт за выдачу в сеть „зеленой“ энергии, полученной из биомассы, так что вся производимая энергия поступает в электрическую сеть, а потребности завода удовлетворяются за счет покупки электроэнергии из сети по более дешевой цене.

В 2002 г. Компания поставила котлы с сопутствующим оборудованием стоимостью 20 млн. € на завод, размещенный в Дуйсбурге (ФРГ).

ФРГ, Австрия и Швеция объединили усилия по торговле выбросами и повышению эффективности для привлечения инвестиций в программы перехода на использование биомассы. Количество стран, вовлеченных в этот процесс, непрерывно увеличивается.

На сегодняшний день Украина не превышает свою национальную квоту по выбросам парниковых газов, поэтому может выступать в качестве продавца квот странам, которые превышают установленный уровень выбросов. Вышеприведенные схемы торговли выбросами парниковых газов представляют для Украины новые возможности привлечения иностранных инвестиций в энергосбережение и техническую модернизацию предприятий.

Одним из перспективных проектов по снижению эмиссии диоксида углерода, которые могут быть реализованы на территории Украины, является использование в качестве энергоресурсов твердых биотоплив на основе быстрорастущих энергетических культур. Наиболее пригодными для получения твердого топлива являются мискантус (слоновая трава), ива, тополь, подсолнечник, кукуруза, лен и другие культуры.

Применение биотоплива на основе энергетических растений стало достаточно популярным в странах Европы. Биомасса является наиболее мощным сектором возобновимых источников энергии в Европейском Союзе. В соответствии с программой развития возобновимых источников

энергии в странах ЕС в 2010 году доля биомассы будет составлять 182 млн. т.н.э. (нефтяного эквивалента), что составит 74% общего вклада возобновимых источников энергии.

Одним из требований к странам-кандидатам в ЕС является уровень использования возобновимых источников энергии, который должен быть не ниже среднеевропейского. Поэтому для Украины, которая поставила цель интегрироваться в Европу, это является дополнительным аргументом в пользу активного развития биоэнергетики.

В таких странах, как Швеция и Дания на установках комбинированного получения тепла и энергии широко используют иву, тополь и слоновую траву в виде добавки к основному топливу. При этом доля ископаемого топлива за счет добавления биотоплива, а также количество вредных выбросов, поступающих в атмосферу, заметно сокращается. Для выращивания подобного рода энергетических культур отводятся специальные плантации. Площадь плантаций для выращивания ивы в Дании составляет 500 га, а в Швеции – до 20 тыс. га. В среднем уровень урожайности энергетических культур в Швеции составляет 12 т/га, что эквивалентно 5 т нефти. В Италии урожайность плантаций ивы составляет 19 т/га и плантаций тополя – 17 т/га [5]. Основные характеристики плантаций энергетических культур представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Характеристики плантаций энергетических культур

Параметры	Ива	Тополь	Акация	Мискантус
Плотность высаживания, саженцев на гектар	18-25 тыс.	10-15 тыс.	8-12 тыс.	10 тыс.
Периодичность уборки урожая, годы	3-4	1-3	2-4	2,5-3
Средний диаметр ствола, мм	15-30	20-50	20-40	20-40
Средняя высота при уборке, м	3,5-5,0	2,5-7,5	2,0-5,0	1,5-4
Объем «зеленой» массы на гектар, т/га	30-60	20-45	15-40	15
Влажность, %	50-55	50-55	40-45	10-20

Учитывая то, что теплотворная способность абсолютно сухой вербы составляет 4300 ккал/кг (18 МДж/кг), а теплотворная способность многих видов ископаемых топлив, сжигаемых на современных ТЭС, даже ниже указанного значения, использование энергетических культур является перспективным. Однако следует учитывать, что при этом потребуются существенная модернизация топочных устройств котельных агрегатов. По-видимому, в первую очередь целесообразно использование биологического сырья для нужд теплофикации.

Развитие биоэнергетики является очень активным и для Украины с ее значительным потенциалом местных видов топлива. Основными

составляющими потенциала биомассы является солома и другие отходы сельского хозяйства, а также древесные отходы и энергетические культуры.

Учитывая то, что теплофикационные установки размещены в селитебных зонах, а также то, что при сжигании «энергетических» культур выбросы вредных газов в атмосферу минимальны, применение этого решения является альтернативой сжиганию в топках теплофикационных котлов дорогого природного газа. В табл. 2 представлен потенциал биомассы, пригодной для получения энергии в Украине.

Таблица 2 – Потенциал биомассы в Украине [7]

Вид биомассы/излишков биомассы	Валовой сбор, млн.т	Кoeffициент отходов	Кoeffициент доступности	Общее количество отходов	$Q^p_{н}$, МДж/кг	Количество биомассы, доступное для получения энергии		Энергетический потенциал биомассы, доступной для получения энергии, млн.т НЭ
						%	млн. т	
Солома злаковых культур	28,53	1,0	0,85	24,25	15,7	20	4,85	1,82
Стебли кукурузы	5,34	1,2	0,7	4,49	13,7	50	2,24	0,74
Сахарная свекла (ботва, жмых)	17,66	0,4	0,4	2,83	13,7	50	1,41	0,46
Стебли подсолнечника	2,31	3,7	0,7	5,97	13,7	50	2,99	0,97
Отходы древесины	5,4	0,84	0,9	4,1	9,0	71	2,91	0,62
Навоз (сухое вещество)	7,39	-	0,62	4,58	15,0	100	4,58	1,64
Всего				44,46			18,98	6,25

Важнейшее значение с точки зрения энергетической эффективности использования культур имеет соотношение затрат на производство (выращивание, уборку урожая и подготовку к сжиганию) и получение энергии при сжигании соответствующей культуры. Основные

энергетические показатели наиболее распространенных видов культур представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Основные энергетические показатели культур [8]

Культура	Потребление энергии на выращивание и уборку урожая \mathcal{E}_n , МДж/га	Выход энергии $\mathcal{E}_в$, МДж/га	Соотношение $\frac{\mathcal{E}_в}{\mathcal{E}_n}$
Слоновая трава	9224	300,0	32,5
Ива	6003	180,0	30,0
Пшеница	21,46	189,34	8,8
Рапс	19,39	72,0	3,8

Учитывая то, что ива имеет очень глубокую корневую систему и не требует использования качественной воды, для ее полива можно использовать сточные воды шахт. Эта культура способна поглощать питательные вещества и тяжелые металлы сточных вод, не требуя особых условий выращивания. Ее можно высаживать на почвах, не предназначенных для выращивания зерновых культур.

К сожалению, высадка энергетических культур в Украине до сих пор находится на стадии экспериментальных исследований. Имеются отдельные посадки мискантуса в Харьковской области. Первый урожай около 200 т планируется собрать уже через три года. Сухая биомасса будет использоваться на ТЭС в виде топливных гранул вместо угля.

Поскольку почвы в зоне радиоактивного загрязнения непригодны для выращивания продовольственных культур, их можно использовать под посадки энергетических культур. Тем более что трава мискантуса накапливает незначительное количество цезия-137.

Несмотря на преимущества и потенциальные выгоды, полученные от внедрения энергии из биомассы, биоэнергетические технологии развиваются в Украине очень медленно. Одной из основных причин является отсутствие официальных государственных документов и законов, устанавливающих конкретно определенные цифры и соответствующие мероприятия по использованию возобновимых источников энергии, в том числе и биомассы.

Опыт европейских стран полезен для Украины с точки зрения предоставления экологических субсидий на приобретение котлов, работающих на биомассе. Кроме того, дополнительным стимулом могло бы стать погашение государством банковских процентов в случае, если покупатель берет кредит на приобретение котла.

Дополнительные средства на внедрение биоэнергетических проектов в Украине могут быть получены за счет передачи единиц сокращения

эмиссии в тоннах CO₂ – эквивалента странам, которые обязаны сократить свои выбросы парниковых газов.

Выводы

1. Использование торговли квотами может обеспечить финансирование экологических проектов по снижению выбросов диоксида углерода за счет сжигания биотоплива и отходов деревообработки.
2. Установки для получения тепловой и электрической энергии могут использовать отходы деревоперерабатывающих предприятий и биомассу, выращиваемую на полях в радиусе 70-150 км. При увеличении мощности генерирующего оборудования радиус «сбора» энергетического сырья увеличивается.
3. На территории Украины рационально расширить посевы энергетических культур.
4. Для расширения области применения оборудования, работающего с использованием возобновимых энергоресурсов необходимо освоение производства на отечественных заводах соответствующих котлов.
5. По опыту стран европейского союза необходима разработка законодательной базы, регулирующей цены на произведенную энергию из ископаемого топлива и возобновимых источников сырья.

ЛИТЕРАТУРА

4. Іноваційні пріоритети паливно-енергетичного комплексу України/ Під загальною редакцією А.К. Шидловського – К.: Українські енциклопедичні знання, 2005. – 512 с.
5. Енергетичні ресурси та потоки / Під заг. Редакцією А.К.Шидловського – К.: Українські енциклопедичні знання, 2003. – 472 с.
6. Высоцкий С.П. Проблемы эмиссии углекислого газа // Экотехнологии и ресурсосбережение. 2007. - № 2. – С. 47 – 50.
7. Гелетуха Г.Г., Матвеев Ю.Б., Филоненко А.В. Киотский протокол и дополнительные инвестиции в энергосбережение // Промышленная теплотехника. – 2006. - №2, т. 28 – С. 125 – 131.
8. Combine Heat and Power. The carrot and the stick. Staff report // Power Engineering International. – May, 2005 – pp. 25 – 27.
9. С.Олійник, М. Жовмір, К.Дрозд, Т.Єловікова Енергетичні плантації // Біоенергоресурси. 2007. - № 3. – С. 6 – 9.
10. А.А. Долінський, Б.І. Басок, Є.І. Базеев, І.А. Піроженко. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації, т. 1,2 – Київ, 2007 – 827 с.
11. Высоцкий С.П., Щербушенко Е.С. Экологические факторы использования возобновимых энергоресурсов // Збірник наукових праць ЛНАУ, технічні науки. 2007. - №70 (93). – С. 41 – 54.