

# Топливо и энергетика

УДК 620.92

## Развитие биоэнергетических технологий в Украине

Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Тишаев С.В., Кобзарь С.Г.

Институт технической теплофизики НАНУ, Киев

На основе статистических данных проведена оценка потенциала биомассы, доступной для получения энергии. Выполнено технико-экономическое обоснование биоэнергетических технологий. Проанализированы барьеры на пути развития биоэнергетики. Предложена концепция развития биоэнергетики в Украине. Рассмотрено биоэнергетическое оборудование, которое может быть внедрено в рамках предложенной концепции. Приведены примерная емкость рынка Украины, замещение ископаемого топлива, снижение выбросов CO<sub>2</sub> и необходимые капитальные затраты.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, потенциал биомассы, биоэнергетические технологии.

На основі статистичних даних проведено оцінку потенціалу біомаси, доступної для отримання енергії. Виконано техніко-економічне обґрунтування біоенергетичних технологій. Проаналізовано бар'єри на шляху розвитку біоенергетики. Запропоновано концепцію розвитку біоенергетики в Україні. Розглянуто біоенергетичне обладнання, яке може бути впроваджене в рамках запропонованої концепції. Наведено приблизну ємність ринку України, заміщення викопного палива, зниження викидів CO<sub>2</sub> та необхідні капітальні витрати.

**Ключові слова:** відновлювані джерела енергії, потенціал біомаси, біоенергетичні технології.

Производство энергии из возобновляемых источников динамично развивается в большинстве европейских стран. В 1995 г. в странах ЕС на долю возобновляемых источников энергии (ВИЭ) приходилось 74.3 млн т нефтяного эквивалента (т н.э., Q<sub>н.р</sub> = 41.9 МДж/кг), что составляло около 6 % общего потребления первичных энергоносителей (ОППЭ) (табл.1) [1]. Из них на долю биомассы приходилось больше 60 %, или около 3 % ОППЭ. В некоторых странах доля биомассы в ОППЭ значительно превышает среднеевропейскую, %: США — 3.2; Дания — 6; Австрия — 12; Швеция — 18; Финляндия — 23. В соответствии с программой развития ВИЭ, в странах ЕС биомасса будет покрывать около 74 % общего вклада ВИЭ в 2010 г., или около 9 % ОППЭ.

Таблица 1

Тип ВИЭ	Выработка энергии, млн т н.э. (%)		ОКЗ, млрд долл.	CO <sub>2</sub> *, млн т/год
	1995 г.	2010 г.		
Ветроэнергетика	0.35 (0.5)	6.9 (3.8)	34.56	72
Гидроэнергетика	26.4 (35.5)	30.55 (16.8)	17.16	48
Фотоэлектрическая энергетика	0.002 (0.003)	0.26 (0.1)	10.8	3
Биомасса	44.8 (60.2)	135 (74.2)	100.8	255
Геотермальная энергетика	2.5 (3.4)	5.2 (2.9)	6.0	5
Солнечные тепловые коллекторы	0.26 (0.4)	4 (2.2)	28.8	19
Всего	74.3 (100)	182(100)	198.12	402

Примечание. ОКЗ — общие капитальные затраты в 1997–2010 гг.; \* снижение выбросов до 2010 г.

Состоянию развития биоэнергетических технологий в мире посвящены обзорные статьи

Таблица 2. Энергетический потенциал биомассы в Украине в 1999 г.

Области Украины	Солома			Навоз						Древесина			
	валовой сбор, тыс. т	количество*, тыс. т	ЭП*, тыс. т у.т.	КРС, тыс. шт.	свиньи, тыс. шт.	птица, тыс. шт.	количество**, млн т/год	полученный биогаз, млн м <sup>3</sup> /год	ЭП биогаза, тыс. т у.т.	заготовка, тыс. плотных м <sup>3</sup>	общее количество, тыс. т	количество*, тыс. т	ЭП*, тыс. т у.т.
АР Крым	840	168	80	194	118	1748	1.6	68.4	49.7	45.1	33.4	21.4	6.9
Винницкая	1711	342.2	170	400	325	1420	3.1	128.5	92.7	438.3	324.3	207.6	67.3
Волынская	542	108.4	50	236	49	616	1.7	68.5	49.3	648.5	479.9	307.1	99.6
Днепропетровская	1522	304.4	150	361	328	1356	3.0	125.1	90.2	59.9	44.3	28.4	9.2
Донецкая	1133	226.6	110	272	226	2592	2.4	103.3	75.0	54.5	40.3	25.8	8.4
Житомирская	821	164.2	80	396	138	1072	3.0	122.7	88.4	1315.7	973.6	623.1	202.0
Закарпатская	215	43	20	37	15	968	0.3	16.2	12.0	638.5	472.5	302.4	98.0
Запорожская	874	174.8	90	277	263	1056	2.2	93.1	67.1	11.5	8.5	5.4	1.8
Ивано-Франковская	254	50.8	20	68	18	944	0.5	23.6	17.3	488.2	361.3	231.2	75.0
Киевская	1344	268.8	130	368	270	3468	3.1	136.2	99.0	806.4	596.7	381.9	123.8
Кировоградская	1113	222.6	110	190	152	716	1.6	65.0	46.9	89.3	66.1	42.3	13.7
Луганская	736	147.2	70	180	75	1984	1.5	65.3	47.6	218.7	161.8	103.6	33.6
Львовская	617	123.4	60	139	27	1964	1.1	49.3	36.1	663.6	491.1	314.3	101.9
Николаевская	894	178.8	90	174	138	716	1.4	60.0	43.3	28.2	20.9	13.4	4.3
Одесская	1278	255.6	130	270	257	2628	2.3	102.6	74.6	59.8	44.3	28.3	9.2
Полтавская	1713	342.6	170	443	308	1696	3.3	139.9	100.9	197.6	146.2	93.6	30.3
Ровненская	537	107.4	50	219	48	736	1.5	64.0	46.2	847.0	626.8	401.1	130.1
Сумская	1066	213.2	100	344	169	1180	2.6	110.2	79.4	604.1	447.0	286.1	92.8
Тернопольская	869	173.8	90	195	63	976	1.4	58.1	42.0	219.5	162.4	104.0	33.7
Харьковская	1512	302.4	150	426	239	1892	3.3	140.5	101.4	390.6	289.0	185.0	60.0
Херсонская	974	194.8	100	205	165	848	1.7	70.6	50.9	59.4	44.0	28.1	9.1
Хмельницкая	1298	259.6	130	386	220	664	2.8	113.0	81.3	498.9	369.2	236.3	76.6
Черкасская	1411	282.2	140	378	308	1448	3.0	123.6	89.1	383.6	283.9	181.7	58.9
Черновицкая	295	59	30	90	41	688	0.7	29.0	21.1	576.0	426.2	272.8	88.4
Черниговская	1002	200.4	100	433	121	1464	3.1	129.5	93.4	898.7	665.0	425.6	138.0
Всего	24571	4914.2	2420	6681	4081	34960	52.1	2207.2	1595.3	10308.7	7628.4	4882.2	1572.7

Примечание. ЭП — энергетический потенциал; \* доступное для получения энергии; \*\* доступное для анаэробного сбраживания.

[2–6]. Настоящая статья посвящена разработке концепции развития биоэнергетических технологий в Украине.

Оценка потенциала биомассы, доступной для получения энергии в Украине, проведена на основе статистических данных. Основным источником биомассы в Украине являются отходы сельского хозяйства, в первую очередь солома злаковых культур. Энергетический потенциал биомассы по регионам Украины приведен в табл.2. Здесь общее количество соломы приблизительно соответствует валовому сбору зерна, а также учтено уменьшение количества навоза крупного рогатого скота (КРС) вследствие частичного пребывания его на пастбищах в летний период и за счет навоза свиней, который не подходит для анаэробного сбраживания с получением положительного экономического эффекта из-за чрезмерной его влажности (комплексы с гидросмывом и гидросплавом навоза).

Данные по энергетическому потенциалу биомассы для отдельных видов сельскохозяйственных культур (данные 2000 г.) приведены в табл.3. Коэффициенты отходов и доля биомассы, которая не используется другими секторами экономики и доступна для производства энер-

гии, определены на базе методической литературы и экспертных оценок.

Таблица 3

Культура	Урожай, млн т	Коэффициент отходов	Общее количество БМ, млн т	Доля БМ*, млн т (%)	Потенциал БМ*, млн т у.т.
Зерновые (солома)**	38.0	1.0	38.00	7.60 (20)	3.63
Кукуруза на зерно (стебли, початки)	3.84	1.3	4.99	2.49 (50)	1.19
Подсолнух (стебли)	3.46	1.5	5.19	4.15 (80)	1.98
Подсолнух (шелуха)	3.46	0.2	0.69	0.69 (100)	0.33
Всего			48.87	14.94	7.13

Примечание. БМ — биомасса; \* доступной для получения энергии; \*\* в 2001 г.

В Украине потребление соломы сельскохозяйственным сектором на собственные нужды (корм и подстилка для животных) принято около 80 % общего количества, и только 20 % ее может быть использовано для производства энергии. Это значительно ниже, чем, например, в Дании, где 60 % общего сбора соломы считаются пригодными для производства энергии. В будущем доля соломы, доступной для производства энергии в Украине, может существенно возрасти.

Другим значительным источником биомассы в Украине являются навозные стоки животноводства. Данные за 1999 г. по потенциалу навоза, количеству биогаза, который может быть получен из него, и замещению ископаемого топлива по региону Украины и по стране в целом приведены в табл. 2, 4. Расчет выполнялся, исходя из поголовья скота на агропредприятиях и без учета содержащегося в индивидуальных хозяйствах. Для КРС и свиней брались статистические данные по поголовью, а количество птицы определялось по данным по производству яиц из расчета, что одна курица несет 250 яиц в год.

Таблица 4

Источник навоза	Навоз*, млн т	Полученный биогаз, млн м <sup>3</sup>	ЭП биогаза, млн т у.т.
КРС	45.46	1832.9	1.31
Свиньи	4.47	170.9	0.12
Птица	2.17	203.4	0.16
Всего	52.1	2207.2	1.59

\* Доступный для анаэробного сбраживания.

Далее по специальным нормам рассчитывался выход навоза для каждой группы животных, количество сухого вещества в навозе (КРС — 20–22, свиньи — 9–12, птица — 25 %) и количество органических веществ в сухом остатке (КРС и свиньи — 80–85, птица — 75–77 %). По показателям выхода биогаза из 1 кг внесенной в реактор органической массы определялся выход биогаза для этих трех групп животных. В 1999 г. суммарное количество биогаза, которое может быть получено из навоза КРС, свиней и птицы, составляло 2207.2 млн м<sup>3</sup>, что эквивалентно 1.59 млн т у.т.

Количество древесных отходов, которые образуются в Украине, а также их энергетический потенциал представлены в табл. 2, 5.

Таблица 5

Тип отходов древесины	Количество, млн пл. м <sup>3</sup>	ЭП, млн т у.т.
Невывезенная древесина на лесосеках (побочные остатки), W = 50–60 %	1.406	0.314
Отходы в гослесхозах при распиловке кругляка, W = 40–45 %	0.452	0.114
Отходы на ДОКах при изготовлении готовой продукции, W = 25–30 %	0.656	0.180
Дрова, вывозимые с лесосеки, W = 40–45 %	3.853	0.969
Всего	6.367	1.577

Примечание. W — массовая влажность.

В 1999 г. общий объем заготовленной древесины составлял 10.3 млн плотных м<sup>3</sup> (пл. м<sup>3</sup>) [7]. Нормативный остаток древесины на лесосеках был 12 %, значит, при заготовке вышеуказанного объема лесоматериалов остатки состав-

ляли 1.406 млн пл. м<sup>3</sup>. При первичной обработке круглой древесины выход пиломатериалов был 65 % общего объема, а 35 % шло в отходы. В 1999 г. было произведено 2.1 млн пл. м<sup>3</sup> пиломатериалов и до 60 % отходов полезно использовано (продано), откуда можно определить объем отходов первичной обработки кругляка, которые остаются неиспользованными и могут рассматриваться как потенциал для производства энергии. Он составляет 0.452 млн пл. м<sup>3</sup>.

Следующим источником древесных отходов являются отходы на ДОКах при изготовлении готовой продукции. По статистическим данным, при производстве продукции в деревообрабатывающей промышленности Украины в 1999 г. в целом образовалось 1.108 млн пл. м<sup>3</sup> отходов (отходы первичной переработки круглой древесины плюс отходы на ДОКах) [7]. Вычитая из этого количества уже оцененный объем отходов при распиловке кругляка (0.452 млн пл. м<sup>3</sup>), получаем 0.656 млн пл. м<sup>3</sup> отходов на ДОКах при изготовлении готовой продукции. Кроме того, 3.853 млн пл. м<sup>3</sup> были вывезены из леса в виде дров. Таким образом, общий энергетический потенциал древесины в Украине составлял около 6.37 млн пл. м<sup>3</sup>, или 1.58 млн т у.т.

При разложении твердых бытовых отходов (ТБО) в анаэробных условиях на свалках и полигонах образуется свалочный газ. В Украине образуется ежегодно приблизительно 15 млн т ТБО, более 90 % которых вывозится на свалки. Из 655 свалок около 140 составляют полигоны ТБО, которые могут считаться пригодными для добычи и использования свалочного газа. До 30 % всех ТБО Украины размещается на 90 полигонах, наиболее рентабельных для добычи и использования этого газа. Они брались в расчет при разработке концепции развития биоэнергетики в Украине. Потенциал свалочного газа, доступного для производства энергии на 90 наиболее крупных полигонах ТБО, составляет около 400 млн м<sup>3</sup>/год, что эквивалентно 0.3 млн т у.т.

Энергетический потенциал биомассы в Украине, по данным 1999–2001 гг., составляет, млн т у.т./год: зерновые культуры (солома) — 3.63; кукуруза на зерно (стебель, початки) — 1.19; подсолнух (стебель, шелуха) — 2.31; биогаз из навоза — 1.59; отходы древесины — 1.58; свалочный газ — 0.3; всего — 10.6. Это составляет около 5.3 % общего потребления первичных энергоносителей в Украине без учета доли биомассы, которая используется другими секторами экономики.

На сегодняшний день использование ВИЭ в Украине (исключая большую гидроэнергетику) составляет менее 0.5 % общего потребления первичных энергоносителей, эксплуатируются

только несколько современных котлов для сжигания древесины. В гослесхозах и на деревообрабатывающих предприятиях эксплуатируются в основном котлы, первоначально спроектированные для сжигания угля и мазута, а затем переоборудованные для сжигания древесины. Как правило, такие котлы имеют неподвижные колосниковые решетки, периодическую загрузку топлива, низкий КПД и высокую эмиссию вредных веществ в атмосферу. На маслоэкстракционных заводах эксплуатируются несколько котлов, конвертированных под сжигание шелухи семян подсолнуха. Сжигание шелухи является экономически эффективной технологией, которая продолжает развиваться в Украине. В Украине эксплуатируется только один котел для сжигания соломы мощностью 980 кВт, не используются мини-ТЭЦ на биомассе, крупные биогазовые установки для обработки навозных стоков и стоков пищевой промышленности, а также газификаторы для переработки биомассы.

За последнее время в Украине выполнено несколько демонстрационных проектов в области биоэнергетики. Установки, внедренные в рамках этих проектов, являются первым современным крупномасштабным биоэнергетическим оборудованием в нашей стране. Это результат технической помощи Нидерландов Украине. Установле-

но два паровых древесносжигающих котла: мощностью 5 МВт — на предприятии по производству клееной фанеры «ОДЕК Украина» в г. Оржев Ровенской обл.; мощностью 1.5 МВт — в Малинском гослесхозе-техникуме Житомирской обл. Котлы оборудованы подвижно-переталкивающими колосниковыми решетками и предназначены для сжигания древесной щепы, коры и опилок влажностью до 60 %.

Также успешно выполнен датско-украинский проект технической помощи, в рамках которого в селе Дрозды Киевской обл. установлен и введен в эксплуатацию котел мощностью 980 кВт для сжигания больших тюков соломы.

Реализуется проект технической помощи Нидерландов Украине, в рамках которого на свиноводческой ферме на 15 тыс. голов в селе Еленовка Днепропетровской обл. сооружается биогазовая установка с объемом реакторов 2000 м<sup>3</sup> для обработки 80 т/сут навозных стоков с использованием биогаза в установках комбинированного производства теплоты и электроэнергии мощностью 160 кВт<sub>э</sub> + 300 кВт<sub>т</sub>.

Данные технико-экономического обоснования использования в Украине котлов иностранного и украинского производства для сжигания биомассы на основе указанных демонстрационных проектов приведены в табл.6. Капитальные затраты

Таблица 6

Показатели	Котел KARA с подвижно-переталкивающей решеткой, 5 МВт			Котел KARA с ретортой, 2 МВт			Котел Lin-ka, 800 кВт	Котел PASSAT, 980 кВт
	750/1300	750/1300	750/1300	250/520	250/520	250/520	133/289	121/303
Капитальные затраты, тыс. долл./тыс. грн	750/1300	750/1300	750/1300	250/520	250/520	250/520	133/289	121/303
Доля зарубежных комплектующих, %	-/30	-/30	-/30	-/30	-/30	-/30	-/30	-/25
Влажность топлива, %	60	60	60	40	40	40	15	15
Загрузка установки, ч/год	4400	8000	8000	4400	8000	8000	4400	4400
Эксплуатационные затраты, (тыс. долл./год)/(тыс. грн/год):								
амортизация	<u>50.25</u> 89.11	<u>50.25</u> 89.11	<u>50.25</u> 89.11	<u>16.75</u> 34.84	<u>16.75</u> 34.84	<u>16.75</u> 34.84	<u>8.91</u> 19.36	<u>8.09</u> 20.18
прибыль (годовая процентная ставка 10 %)	75/133	75/133	75/133	25/52	25/52	25/52	13.3/28.9	12.13/30.3
оплата труда	0.65/3.6	1.30/7.2	1.30/7.2	0.65/3.6	1.30/7.2	1.30/7.2	0.65/3.6	0.65/3.6
топливо	66.1/367	0/0	135/750	24.2/134	0/0	49.4/274	3.2/17.9	7.43/40.1
техническое обслуживание	5/10	5/10	5/10	5/5	5/5	5/5	0.9/2.5	0.15/0.8
всего	197/603	132/239	267/989	72/230	48/99	97/373	27/72	29/98
Расход топлива, т/год	14685	30000	30000	3357	6857	6857	895	1114
Теплота сгорания, МДж/кг	6	6	6	10.5	10.5	10.5	14	14
Стоимость топлива, (долл./т)/(грн/т)	4.5/25	0/0	4.5/25	7.2/40	0/0	7.2/40	3.6/20	6.52/36
Выработка тепловой энергии, ТДж/год	70.49	144	144	28.2	57.6	57.6	11.28	12.52
Себестоимость тепловой энергии, (долл./ГДж)/(грн/ГДж)	2.79/8.55	0.91/1.66	1.85/6.87	2.54/8.15	0.83/1.72	1.69/6.48	2.39/6.41	2.27/8
Экономия природного газа, млн м <sup>3</sup> /год	2.01	4.11	4.11	0.81	1.65	1.65	0.32	0.39
Экономия природного газа, (тыс. долл./год)/(тыс. грн/год)	<u>161.12</u> 889	<u>329.14</u> 1817	<u>329.14</u> 1817	<u>64.45</u> 356	<u>131.7</u> 727	<u>131.7</u> 727	<u>25.78</u> 142	<u>30.88</u> 167
Срок окупаемости, лет	8.4/2.6	2.3/0.7	4/1.3	7.2/2.4	2/0.7	3.3/1.2	6.3/2.4	5.4/2.2

Примечание. Топливо для котлов KARA — древесина, для Lin-ka и PASSAT — солома.

включают стоимость котла голландской фирмы «KARA», вспомогательного оборудования, автоматики и системы регулирования, мультициклона, дымовой трубы, а также затраты на монтаж и ввод в эксплуатацию. Стоимость здания котельной и тепловых сетей не включена в капитальные затраты. При расчетах варьировались следующие параметры: годовая загрузка котла, стоимость топлива, влажность топлива и др. Период загрузки котла 8000 ч/год у котла, который производит технологический пар, а 4400 ч/год у работающего в течение отопительного сезона.

В табл.6 также представлены результаты технико-экономического обоснования для двух соломосжигающих котлов. Автоматический котел мощностью 800 кВт производства датской фирмы «Lin-ka» предназначен для сжигания соломы-сечки. В капитальные расходы включены стоимость котла, дымовой трубы, сооружений, затраты на транспортировку и установку оборудования. Котел датской фирмы «PASSAT» в качестве топлива использует большие тюки соломы. При проведении расчетов были приняты такие параметры: срок амортизации – 15 лет; заработная плата для трех рабочих (1 чел. в смену) – 0.65 тыс. долл./год при работе установки 6 мес или 1.30 тыс. долл./год при 12 мес; цена природного газа – 80 долл./1000 м<sup>3</sup>.

Расход топлива рассчитывали с учетом средней мощности установки за отопительный период, которая составляет 0.89 номинальной мощности. Себестоимость тепловой энергии определялась делением эксплуатационных затрат на годовую выработку тепловой энергии. Срок окупаемости рассчитывался делением капитальных затрат на разницу между стоимостью сэкономленного природного газа и эксплуатационными расходами (без амортизации и прибыли).

Получение тепловой энергии из отходов древесины и соломы является рентабельным для Украины даже при использовании импортных котлов. Наиболее рентабельным является производство технологического пара при большом периоде загрузки установки. В табл.7 представлены результаты технико-экономического обоснования для биогазовой установки с объемом метантенков 2000 м<sup>3</sup> и использованием биогаза в установке комбинированного производства теплоты и электроэнергии мощностью 160 кВт<sub>т</sub> + 300 кВт<sub>г</sub>. Капитальные затраты включают стоимость оборудования и затраты на модификацию инфраструктуры. Финансовый эффект от внедрения установки состоит из экономии средств на покупку электроэнергии, тепловой энергии и минеральных удобрений.

Таблица 7

Показатель	Доля зарубежных комплектующих	
	100 %	40 %
Капитальные затраты, тыс. долл.	413	280
Эксплуатационные затраты, тыс. долл./год	21	22
Экономия, тыс. долл./год:		
электроэнергия	41.4	41.4
тепловая энергия	5.6	5.6
минеральные удобрения (N, P, K)	25.0	25.0
всего	72	72
Срок окупаемости, лет	8.1	5.6

Биоэнергетическое оборудование зарубежного производства дорогое, и далеко не все украинские предприятия имеют финансовые возможности для его приобретения. Целесообразно начать выпуск такого оборудования в Украине, а доля зарубежных комплектующих будет до 25–40 %. При этом стоимость биоэнергетического оборудования украинского производства значительно снизится.

Так, котел голландской фирмы «KARA» мощностью 5 МВт с подвижно-переталкивающей решеткой стоит около 750 тыс. долл. Стоимость аналогичного котла украинского производства с 30 % зарубежных комплектующих ожидается примерно 1330 тыс. грн (около 240 тыс. долл.), то есть более чем в 3 раза дешевле (см. табл.6). То же самое можно сказать про древесносжигающий котел с ретортой и соломосжигающие котлы. Котлы украинского производства будут иметь достаточно малый срок окупаемости – 1.0–2.5 года.

Технико-экономические показатели биогазовой установки украинского производства с 40 % зарубежных комплектующих представлены в табл.7. Капитальные затраты на сооружение украинской установки составляют около 280 тыс. долл., что почти в 1.5 раза меньше, чем для зарубежной установки. Срок окупаемости украинской биогазовой установки оценивается в 5.6 года.

В качестве примера технико-экономического обоснования технологий добычи и использования свалочного газа в табл.8 приведены результаты расчетов для мини-электростанции мощностью 2 МВт, установленной на Луганском полигоне ТБО, содержащем 1.6 млн т отходов. Принято, что средняя плотность ТБО – 800 кг/м<sup>3</sup>, ежегодный выход свалочного газа – 5 м<sup>3</sup>/т отходов, полный срок эксплуатации установки – 20 лет. Себестоимость электроэнергии при использовании двигателей украинского и зарубежного производства составляет соответственно 0.007 и 0.016 долл./кВт·ч, что ниже рыночной ее стоимости в Украине (0.021 долл./кВт·ч).

Таблица 8

Параметры	I	II
Объем полигона, млн м <sup>3</sup>	2.0	2.0
Выход свалочного газа, млн м <sup>3</sup> /год	8.0	8.0
Q <sub>нр</sub> свалочного газа, МДж/м <sup>3</sup>	18	18
Установленная мощность мини-электростанции, кВт	2 × 1000	2 × 1000
Выработка электроэнергии, ГВт·ч/год	14.4	14.4
Капитальные затраты, долл.	571000	1345555
Эксплуатационные расходы, долл./год:		
амортизация	38067	89704
прибыль (годовая ставка 10 %)	57100	134556
оплата труда	3600	3600
техническое обслуживание	5000	5000
всего	103767	232859
Себестоимость электроэнергии, долл./кВт·ч	0.007	0.016
Внутренняя норма рентабельности проекта (IRR), %	39	17
Срок окупаемости, лет	2.0	4.6

*Примечание.* Двигатели: I – «Первомайскидизельмаш» (Украина); II – Caterpillar (США).

Приведенные выше экономические расчеты не учитывают потенциальной возможности продажи единиц снижения выбросов CO<sub>2</sub> и других парниковых газов, которое было достигнуто при выполнении биоэнергетических проектов. Эти квоты будут покупаться по цене от 4.54 до 9.08 евро/т при условии, что за 2008–2012 гг. снижение выбросов будет не менее 500 тыс. т CO<sub>2</sub> или CO<sub>2</sub>-эквивалента.

В настоящее время появляется реальная возможность продажи указанного снижения выбросов парниковых газов, например, в рамках программы Егу-РТ, финансируемой Министерством Экономики Нидерландов. При учете возможности такой продажи экономические показатели биоэнергетических проектов существенно улучшатся. Так, снижение эмиссии метана в атмосферу, достигнутое за счет реализации описанного выше проекта по использованию свалочного газа на Луганском полигоне ТБО, составляет около 70 тыс. т/год CO<sub>2</sub>-эквивалента, то есть 280 тыс. т CO<sub>2</sub>-эквивалента за 4 года (2008–2012 гг.). При его продаже по 9 евро/т можно получить примерно 2520 тыс. евро, что в несколько раз выше капитальных затрат на строительство электростанции мощностью 2 МВт, оборудованной украинскими газовыми двигателями.

В Украине существуют барьеры, препятствующие развитию биоэнергетики. Не налажено серийное производство древесно-, соломосжигающих котлов и биогазовых установок, импортное оборудование также практически отсутствует. Имеются древесно-сжигающие бытовые котлы мощностью 15–50 кВт, в основном зарубежного производства, и мощностью до 200 кВт, в основном оборудованные газификацион-

ными предтопками. Паровые котлы, которые выпускаются в Украине, имеют максимальную мощность 10 т пара/ч (6.5 МВт) и давление до 1.3 МПа. Вышеперечисленное является технологическим барьером для выпуска оборудования для мини-электростанций и мини-ТЭЦ, работающих на древесине или соломе.

В Украине наиболее распространенной системой уборки соломы является сбор измельченной соломы в скирды и стога, которые хранятся в поле. Технология тюкования соломы еще не достигла широкого распространения. Это делает нерентабельной транспортировку соломы на большие расстояния и препятствует созданию больших соломосжигающих станций, а также распространению котлов, сжигающих солому в тюках. Однако, все большее количество хозяйств переходит на технологию уборки соломы с помощью пресс-подборщиков, независимо от планов по установке соломосжигающих котлов. Такой способ уборки окупается за счет снижения потерь зерна при уборке и снижения расходов на хранение и транспортировку соломы. По оценке экспертов, до 50 % хозяйств Украины будут иметь пресс-подборщики уже до 2010 г.

Большое количество крупных свиноферм в Украине оборудовано системами гидросмыва навоза. В этом случае влажность навоза (около 98 %) значительно выше допустимой для получения положительного экономического эффекта от анаэробного сбраживания навоза (88–90 %). Внедрение биогазовых установок в таких случаях требует реконструкции существующей системы гидросмыва навоза.

Экономический барьер для развития биоэнергетики в Украине состоит в отсутствии каких-либо стимулов в виде субсидирования, освобождения от налогов и т.п. для развития и внедрения технологий производства энергии из биомассы. Даже для наиболее рентабельных технологий (промышленные древесно-сжигающие котлы, установки добычи и использования свалочного газа) необходимы финансовые стимулы производителям и потребителям оборудования, особенно в начальный период развития и освоения производства.

Законодательный барьер связан с недостаточно проработанной государственной политикой в отношении сжигания биомассы, получения биогаза и других биоэнергетических технологий. В качестве положительного примера можно привести принятие закона «Об альтернативных видах жидкого и газообразного топлива» (№ 1391-ХІV от 14.01.2000), в соответствии с которым финансовую поддержку должны получить проекты по использованию свалочно-

го газа и биогаза, а также жидкого топлива из биомассы. К сожалению, отсутствуют законы, стимулирующие использование древесины и соломы в качестве топлива.

Экологический барьер связан с существующим сегодня достаточно мягким экологическим законодательством, что не позволяет включать в экономический эффект от использования биоэнергетических технологий экологическую составляющую. Так, в развитых странах основным эффектом от строительства биогазовых установок считается экологический, а в Украине биогазовые технологии вынуждены конкурировать с другими технологиями только за счет энергетического эффекта и эффекта от производства качественных органических удобрений.

Информационный барьер обусловлен почти полным информационным вакуумом по биоэнергетическим технологиям. В библиотеках Украины отсутствуют профильные периодические издания развитых стран по этим технологиям, украинские специалисты практически не имеют возможности участвовать в специализированных зарубежных конференциях. В последние годы возрос интерес украинских средств массовой информации к ВИЭ, в том числе к биоэнергетике. Журналы «Ринок інсталяційний», «Зелена енергетика», «Экотехнологии и ресурсосбережение» уделяют много внимания этим технологиям. Преодолению информационного барьера поможет Первая в Украине международная конференция «Энергия из биомассы», которую проведет Институт технической теплофизики НАН Украины в 2002 г. Создана Ассоциация биоэнергетики Украины, которая будет способствовать развитию этой отрасли в Украине.

Организационный барьер определяется отсутствием скоординированной политики в области развития биоэнергетических технологий в Украине и отсутствием государственного органа, который бы формировал эту политику. К административному барьеру можно отнести трудности, с которыми сталкиваются независимые производители электроэнергии из биомассы при продаже электроэнергии в сеть. В первую очередь это касается установок по утилизации свалочного газа.

При разработке концепции развития биоэнергетики в Украине за основу была принята аналогичная концепция Дании. Обе страны имеют относительно малую территорию, покрытую лесом (около 14 %), и высокоразвитый сельскохозяйственный сектор, что приводит к подобной структуре потенциала биомассы в этих странах.

В Украине наиболее перспективными для коммерческого использования в ближайшие годы можно считать технологии, использующие следующее оборудование: промышленные древесносжигающие котлы мощностью 0.1–5.0 МВт для установки в гослесхозах и на деревообрабатывающих комбинатах; древесносжигающие станции централизованного теплоснабжения мощностью 1–10 МВт; соломосжигающие фермерские котлы и котлы для малых теплосетей мощностью 0.1–1.0 МВт; соломосжигающие станции централизованного теплоснабжения мощностью 1–10 МВт; биогазовые установки для крупных ферм КРС, свиноферм, птицефабрик и предприятий пищевой промышленности; установки добычи и использования свалочного газа в мини-электростанциях мощностью 0.5–5.0 МВт.

Приоритетного развития требуют технологии прямого сжигания древесины, в первую очередь для производства теплоты и технологического пара. Это связано с низкой ценой на электроэнергию в Украине (0.021 долл./кВт·ч) и высокой ценой на топливо и тепловую энергию. Внедрение мини-электростанций и мини-ТЭЦ, сжигающих твердую биомассу (древесину, солому, лузгу), будет рентабельным в случае значительного роста цен на электроэнергию или при субсидировании. Получение теплоты из биомассы экономически выгодно уже сейчас, даже в случае использования импортного оборудования. Украина обладает достаточным техническим потенциалом, чтобы начать собственное производство древесно- и соломосжигающих котлов.

Технологии сжигания соломы также очень перспективны для Украины. Для широкого внедрения этих технологий необходимо решить вопросы организации сбора, прессования в тюки, транспортировки и хранения соломы. Наиболее перспективны имеют фермерские котлы и котлы для малых теплосетей мощностью 0.1–1.0 МВт при использовании их на сельскохозяйственных предприятиях, затем крупные станции централизованного теплоснабжения. В Украине использование мини-ТЭЦ на биомассе мощностью 1–10 МВт, ограничивается двумя демонстрационными станциями (одна на древесине и одна на соломе) до существенного повышения тарифов на электроэнергию.

Крупные биогазовые установки также играют важную роль в концепции развития биоэнергетики в Украине. Их широкое внедрение возможно на свинофермах (с поголовьем более 5 тыс.), фермах КРС (более 600 голов), птицефабриках и предприятиях пищевой промышлен-

ленности. По нашим оценкам, в Украине могут быть сооружены 2903 биогазовые установки со средним объемом метантенка 1000 м<sup>3</sup>, в том числе 295 на свинофермах, 130 на птицефабриках и 2478 на фермах КРС и предприятиях пищевой промышленности.

Использование свалочного газа наиболее прибыльно на промышленных предприятиях, расположенных неподалеку от свалок. Если невозможно утилизировать свалочный газ в котлах близлежащей промышленности, наиболее рентабельным его использованием является производство электроэнергии мини-электростанциями или мини-ТЭЦ на базе газовых двигателей внутреннего сгорания.

Производство жидких топлив из биомассы маловероятно в Украине в ближайшее время, так как их себестоимость получается значительно выше стоимости традиционных жидких топлив. Основные усилия в этой области необходимо сконцентрировать на исследовательских и демонстрационных проектах. То же самое можно сказать о технологиях быстрого пиролиза и газификации биомассы [8–11].

В табл.9 приведены характеристики биоэнергетического оборудования, которое может быть установлено в Украине в рамках реализации разработанной концепции. Снижение выбросов CO<sub>2</sub> рассчитано для случая замещения природного газа. При расчетах приняты следующие показатели удельных капитальных затрат, исходя из стоимости оборудования украинского производителя (в скобках указаны средние мощности оборудования): № 1 – 75 долл./кВт<sub>Т</sub> (2 МВт); № 2 – 100 долл./кВт<sub>Т</sub> (1 МВт); № 3 – 1000 долл./кВт<sub>3</sub> (5 МВт<sub>3</sub> + 10 МВт<sub>Т</sub>); № 4 – 50 долл./кВт<sub>Т</sub> (30 кВт); № 5 – 80 долл./кВт<sub>Т</sub> (0,2 МВт); № 6 – 100 долл./кВт<sub>Т</sub> (2 МВт);

№ 7 – 1500 долл./кВт<sub>3</sub> (5 МВт<sub>3</sub> + 10 МВт<sub>Т</sub>); № 8 – 100 долл./м<sup>3</sup> объема метантенка (V = 1000 м<sup>3</sup>, 75 кВт<sub>3</sub> + 150 кВт<sub>Т</sub>); № 9 – 600 долл./кВт<sub>3</sub> (1 МВт). В случае реализации предложенной концепции общая установленная мощность будет составлять 9071 МВт<sub>Т</sub> и 415 МВт<sub>3</sub>. Это приведет к замещению 6,7 млн т у.т./год и снижению выбросов парниковых газов на 34 млн т/год CO<sub>2</sub>-эквивалента.

### Выводы

Украина имеет достаточно большой потенциал биомассы, доступный для получения энергии. Биомасса (без доли, которая используется другими секторами экономики) может обеспечить около 5,3 % общей потребности в первичной энергии. Технологии утилизации биомассы находятся в начале своего развития в Украине и имеют хорошие перспективы коммерциализации в ближайшем будущем.

Результаты технико-экономического анализа показывают, что производство теплоты из биомассы является конкурентоспособным, даже при использовании зарубежного оборудования. Для производства электроэнергии из биомассы наиболее рентабельными на сегодняшний день являются мини-электростанции, работающие на свалочном газе. Производство электроэнергии из древесины и соломы при существующих тарифах на электроэнергию не является рентабельным.

Наиболее перспективными для использования в Украине являются технологии, использующие следующее оборудование: древесносжигающие станции централизованного теплоснабжения (1–10 МВт) и промышленные древесносжигающие котлы (0,1–5,0 МВт) для установки в гослесхозах и на деревообрабатывающих ком-

Таблица 9

№№ п/п	Тип оборудования	Емкость рынка Украины, шт	Установленная мощность, МВт <sub>Т</sub> /МВт <sub>3</sub>	Период эксплуатации, ч/год	Замещение ископаемого топлива, млн т у.т./год	Снижение выбросов CO <sub>2</sub> , млн т/год	Общие капиталовложения, млн долл.
1	Древесносжигающие станции централизованного теплоснабжения, 1–10 МВт <sub>Т</sub>	250	500/–	4400	0.30	0.49	38
2	Промышленные древесносжигающие котлы, 0,1–5,0 МВт <sub>Т</sub>	250	250/–	8000	0.27	0.45	25
3	Древесносжигающие мини-ТЭЦ, 1–10 МВт <sub>3</sub>	1	10/5	8000	0.02	0.05	5
4	Бытовые древесносжигающие котлы, 10–50 кВт	53000	1590/–	4400	0.96	1.57	80
5	Фермерские соломосжигающие котлы, 0,1–1 МВт <sub>Т</sub>	15900	3180/–	4400	1.91	3.14	254
6	Соломосжигающие станции централизованного теплоснабжения, 1–10 МВт <sub>Т</sub>	1400	2800/–	4400	1.68	2.76	280
7	Соломосжигающие мини-ТЭЦ 1–10 МВт <sub>3</sub>	1	10/5	8000	0.02	0.05	8
8	Крупные биогазовые установки	2903*	711/325	8000	1.33	22.36	290
9	Мини-электростанции на свалочном газе	90	20/80	8000	0.24	3.26	48
	Всего	73795	9071/415	–	6.73	34.13	1027

\* Включая 2478 установок на фермах КРС, 295 на свинофермах и 130 на птицефабриках.

бинатах; соломосжигающие фермерские котлы и котлы для малых теплосетей (0.1–1.0 МВт), а также станции централизованного теплоснабжения (1–10 МВт); биогазовые установки для крупных ферм КРС, свиноферм, птицефабрик и предприятий пищевой промышленности; установки добычи и использования биогаза с крупных полигонов ТБО (мини-электростанции мощностью 0.5–5.0 МВт).

Наиболее перспективной стратегией развития биоэнергетических технологий в Украине, по крайней мере, на первом этапе представляется выпуск соответствующего лицензированного Европейского оборудования на промышленных предприятиях Украины.

В случае реализации предложенной концепции суммарная установленная мощность будет составлять 9071 МВт<sub>т</sub> и 415 МВт<sub>э</sub>. Это приведет к замещению 6.7 млн т у.т./год и снижению выбросов CO<sub>2</sub> на 34 млн т/год. Развитие биоэнергетических технологий уменьшит зависимость Украины от импортированных энергоносителей, повысит ее энергетическую безопасность за счет организации энергоснабжения на базе местных возобновляемых ресурсов, создаст значительное количество новых рабочих мест (преимущественно в сельских районах), внесет большой вклад в улучшение экологической ситуации.

#### Список литературы

1. Energy for the Future : Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan. — Bruxelles, 1997. — 53 p.

2. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Обзор технологий сжигания соломы с целью выработки тепла и электроэнергии // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 1998. — № 6. — С. 3–11.
3. Гелетуха Г.Г., Марценюк З.А. Обзор технологий добычи и использования биогаза на свалках и полигонах твердых бытовых отходов и перспективы их развития в Украине // Там же. — 1999. — № 4. — С. 6–14.
4. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Обзор современных технологий сжигания древесины с целью выработки тепла и электроэнергии. Часть 1 // Там же. — № 5. — С. 3–12.
5. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Обзор современных технологий сжигания древесины с целью выработки тепла и электроэнергии. Часть 2 // Там же. — № 6. — С. 3–13.
6. Гелетуха Г.Г., Кобзарь С.Г. Перспективы развития технологий получения биогаза в Украине // Нефть и газ. — 2001. — № 3. — С. 88–91.
7. Статистический ежегодник Украины за 1999 год. — Киев : Тэхника, 2000. — 519 с.
8. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Обзор технологий газификации биомассы // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 1998. — № 2. — С. 21–29.
9. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Обзор технологий генерирования электроэнергии, полученной из биомассы при ее газификации // Там же. — 1998. — № 3. — С. 3–11.
10. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Обзор современных технологий получения жидкого топлива из биомассы быстрым пиролизом. Часть 1 // Там же. — 2000. — № 2. — С. 3–10.
11. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Обзор современных технологий получения жидкого топлива из биомассы быстрым пиролизом. Часть 2 // Там же. — № 3. — С. 3–11.

Поступила в редакцию 15.10.01

## Development of Bioenergy Technologies in Ukraine

**Geletukha G.G., Zhelyezna T.A., Tishayev S.V., Kobzar S.G.**

*Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev*

On the basis of statistical data, estimation of biomass potential available for energy production in Ukraine is carried out. Technical and economical assessment of bioenergy technologies is fulfilled. Barriers to bioenergy development are analysed. Conception for bioenergy development in Ukraine has been presented. Bioenergy equipment, which can be implemented in the framework of proposed conception, has been indicated. At that approximate capacity of Ukrainian market, replacement of fossil fuels, reduction in CO<sub>2</sub>-emission, and required capital costs have been estimated.

**Key words:** renewable energy, biomass potential, bioenergy technologies.

Received October 15, 2001