

анализ эффективности утилизатора теплоты отходящих теплового двигателя когенерационной установки // Промышленная теплотехника. – 2007. – Т. 29, № 7. – С. 13–16.

4. Бродянский В.М., Фратшер В., Михалек К. Эксергетический метод и его приложения. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 388 с.

5. Дубинин А.Б., Андрищенко А.И., Осипов В.Н. Эксергетический метод исследований как основа совершенствования теплоэнергетических установок // Вестн. Саратов. ГТУ. – 2004. – № 3 (4). – С. 31–44.

6. Эксергетический расчет технических систем. Справочное пособие. Под ред. Долинского А.А. – К.: Наукова Думка, 1991. – 360 с.

7. Шаргут Я. Петела Р. Эксергия. – М.: Энергия, 1968. – 277 с.

8. Налимов В.В. Теория эксперимента – М.: Наука, 1971. – 207 с.

9. Налимов В.В., Голикова Т.И. Логические основания планирования эксперимента. – М.: "Металлургия", 1981. – 151 с.

Получено 14.03.2008 г.

УДК 662.6

**БАШТОВОЙ А.И., ЖОВМИР Н.М.,
РАДЧЕНКО С.В., ЧАПЛЫГИН С.М.**

Институт технической теплофизики НАН Украины

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛОМЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ В ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ ДОНЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

Показано перспективи використання соломи на об'єктах комунальної енергетики Донецької області з метою заміщення викопних палив. Проведено аналіз територіального розподілу ресурсів соломи та умов її транспортування до існуючих опалювальних котельень. Перехід до використання соломи запропоновано розпочати з впровадження котлів періодичної дії в котельнях малої потужності з подальшим оснащенням крупних котельень потужними котлами безперервної дії. Наведено результати оцінки техніко-економічної ефективності використання соломи як палива.

Показаны перспективы использования соломы на объектах коммунальной энергетики Донецкой области с целью замещения ископаемых топлив. Выполнен анализ территориального распределения ресурсов соломы и условий ее транспортирования к существующим отопительным котельным. Переход к использованию соломы предложено начать с внедрения котлов периодического действия в котельнях малой мощности и последующим оснащением крупных котельных мощными котлами непрерывного действия. Приведены результаты оценки технико-экономической эффективности использования соломы в качестве топлива.

The prospects of straw using instead of fossil fuels at the boiler houses of municipal heat supply enterprises of the Donetsk region are shown. The territorial distribution of straw resources and the possibilities of its transportation to existing boiler houses were analysed. It was proposed to start straw using with whole bale boilers implementation at small boiler houses with subsequent application of powerful continuous acting boiler at large boiler houses. Results of technical and economic feasibility calculations are given.

По статистическим данным, Украина ежегодно потребляет около 180...210 млн. т у. т. топливно-энергетических ресурсов и принадлежит к энергозависимым странам. Цены на импортируемые традиционные энергоносители постоянно увеличиваются. Поэтому ведущие страны мира расши-

ряют использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), среди которых первое место занимает биомасса (дрова и отходы деревообработки, солома сельскохозяйственных культур, биогаз и т. п.). Зарубежный опыт свидетельствует, что часть биомассы в общем потреблении пер-

вичных энергоносителей составляет 3 % в США, 6 % в Канаде и Германии, 8 % в Дании, 12 % в Австрии, 18 % в Швеции, 23 % в Финляндии [1]. Страны ЕС в декабре 2005 г. приняли план действий по биомассе (Biomass Action Plan), согласно которому в 2010 г. доля биомассы составит 8 % общего энергопотребления. Уровень использования биомассы в Украине значительно отстает от развитых стран и составляет 0,7 % от потребления первичных энергоносителей.

В 2007 г. Институт технической теплофизики НАН Украины по заказу Областного коммунального предприятия «Донецктеплокоммунэнерго» (ОКП «ДТКЭ») разработал региональную программу реабилитации коммунальной теплоэнергетики Донецкой области, которая нацелена на решение проблем восстановления, поддержки и устойчивого развития производственной структуры этого предприятия. Перед разработчиками программы была поставлена задача по поиску экономически выгодных организационных и технических решений, которые позволили бы уменьшить на 30 % потребление природного газа предприятиями ОКП «ДТКЭ».

В данной работе рассматривается одно из мероприятий, предложенных в разработанной региональной программе — использование биомассы в качестве альтернативного топлива в котельных системах централизованного теплоснабжения.

На данное время в Украине биомассу потребляют преимущественно в виде древесины, однако в природно-климатических условиях Донецкой области возможности использования местной древесины для производства энергии крайне ограничены, т.к. эти ресурсы почти полностью используются населением и промышленностью. Вместе с тем представляется перспективным использование в качестве топлива отходов сельского хозяйства — в первую очередь соломы.

Важными аргументами использования соломы в энергетических целях есть то, что:

- ◆ солома — это местное топливо;
- ◆ солома — это побочный продукт производства зерна, и потому она является относительно дешевым видом топлива по сравнению с традиционными;
- ◆ солома является CO_2 нейтральной: в процессе роста растения поглощается такое же коли-

чество углекислого газа, которое выделяется при его сжигании.

Следует еще отметить очень важный факт: ежегодно после сбора зерновых культур воздух загрязняется дымом от сжигания стерни и соломы на полях. В результате не только ухудшается экологическое состояние окружающей среды, но и теряется шанс получения тепловой энергии с экономией при этом ценных традиционных видов топлива (газа, угля, жидкого топлива), а вместе с этим и собственных денежных средств.

По статистическим данным, ведущую роль в структуре посевных площадей Донецкой области играют зерновые культуры (~ 57 %). Область также характеризуется стабильностью посевных площадей в структуре Украины (~ 5,4 %) и сбора урожая зерна и зернобобовых растений (~ 4,7 % от общегосударственного). Это дает основание считать, что в ближайшее время существенных изменений в структуре сельского хозяйства Донецкой области не ожидается, что, в свою очередь, означает относительную стабильность урожая зерновых, а следовательно, и возможного сбора соломы.

Для определения районов Донецкой области, потенциально обладающих избытком соломы, использовали расчетные методы определения ресурсов соломы, ее потребления для нужд сельского хозяйства и потенциального избытка, доступного для иных нужд, в том числе для производства энергии.

Потенциальный (максимально возможный) урожай соломы был рассчитан на основе данных статистической отчетности об урожае зерновых культур, известных соотношений между зерновой и незерновой частями растений и оценок коэффициентов доступности [2, 3].

Потенциально возможный избыток соломы определялся как разность между потенциально возможным урожаем соломы и расчетной потребностью для сельскохозяйственного использования. Количество соломы для нужд сельского хозяйства (корм и подстилка) напрямую зависит от поголовья крупного рогатого скота (КРС), которое по статистическим данным в Украине постоянно сокращается (с 1.01.1990 г. до 1.01.2008 г. поголовье уменьшилось почти в 4,5 раза — с 25,2 млн. голов до 5,7 млн. голов). Такая тенденция каса-

Табл. 1. Рейтинг территорий Донецкой области по технически доступному избытку соломы злаковых в 2006 г.

№ п/п	Города, районы	Потенциальный валовой сбор соломы злаковых, тыс. т	Технически доступный сбор соломы злаковых, тыс. т	Расчетное количество соломы на собственные нужды, тыс. т	Технически доступный избыток соломы злаковых, тыс. т
1	Великоновоселковский	61,3	44,1	2,7	41,4
2	Красноармейский	59,3	42,7	10,0	32,7
3	Ясиноватский	38,3	27,6	6,8	20,8
4	Добропольский	33,9	24,4	4,5	19,9
5	Артемовский	39,4	28,4	8,5	19,8
6	Костянтиновский	33,8	24,3	7,4	16,9
7	Шахтерский	23,9	17,3	1,1	16,1
8	Первомайский	38,5	27,7	11,8	15,9
9	Амвросиевский	31,1	22,4	6,7	15,7
10	Александровский	28,2	20,3	6,8	13,5
11	Волновахский	88,6	63,8	51,6	12,1
12	Тельмановский	51,4	37,0	27,9	9,1
13	г. Красный Лиман	19,3	13,9	8,0	5,9
14	Старобешевский	35,8	25,7	21,4	4,3
15	г. Макеевка	4,4	3,2	0,4	2,8
16	Марьинский	56,3	40,5	38,4	2,1
17	г. Донецк	6,0	4,3	5,2	-0,8
18	Володарский	57,6	41,5	43,8	-2,3
19	Новоазовский	54,8	39,5	44,3	-4,9
20	Славянский	41,2	29,7	47,6	-17,9
	Всего	803,0	578,1	354,8	223,3

ется и Донецкой области: уменьшение лишь за два года с начала 2005 г. (297 тыс. голов) до начала 2007 г. (210 тыс. голов) составило почти 90 тыс. голов.

При планировании деятельности по производству энергии с использованием соломы необходимо ориентироваться на ее текущий *технически доступный сбор* (учет масштабов использования различных технологий сбора соломы и присущих им потерь) и *технически доступный избыток* (учет потребления соломы на сельскохозяйственные нужды).

Используя статистические данные [4, 5], были проведены оценочные расчеты потенциального избытка соломы злаковых культур, технически доступного сбора соломы, количества соломы на

собственные нужды сельского хозяйства (с учетом частного сектора) и технически доступный избыток соломы в Донецкой области в 2006 году. Ресурсы и потребности городов областного подчинения и районов области, на которых они размещены, были объединены. Отдельно выделены такие промышленные гиганты, как г. Донецк и г. Макеевка, а также г. Красный Лиман, который был отдельно представлен в статистических данных.

Рейтинг территорий Донецкой области по технически доступному избытку соломы злаковых приведен в табл. 1. Как видно, практически больше половины районов области имеют технически доступный избыток соломы свыше 10 тыс. т в год. Дефицит соломы возможен на севере области в Славянском районе и на юге области – в Но-

воазовском и Володарском районах, а также в высоко урбанизированном центре (г. Донецк). Использование всей избыточной соломы в количестве 223 тыс. т в области может максимально заместить около 100 тыс. т у. т. (~ 85 млн. м³ природного газа), что составляет 2,4 % от потребления топлива всеми отопительными котельными Донецкой области.

**Перспективы использования
соломосжигающих котлов на объектах
ОКП «ДТКЭ» с целью замещения
ископаемых топлив**

В ОКП «ДТКЭ» входит часть систем теплоснабжения сравнительно небольших городов и сел Донецкой области, которые размещены ближе к зонам производства сельскохозяйственной продукции, что предоставляет некоторое преимущество при использовании избытков соломы. Поэтому можно ожидать, что вклад соломы в топливный баланс ОКП «ДТКЭ» будет несколько большим, чем среднее значение по области.

Вместе с тем двадцать четыре города, в которых размещены котельные ОКП «ДТКЭ», находятся на территориях районов, которые имеют относительно небольшие избытки соломы (в некоторых случаях вообще их не имеют), что несколько суживает возможности использования соломы в качестве топлива.

Расчеты показали, что при использовании всех ресурсов соломы территорий (без учета покрытия нужд соседних соломодефицитных районов), на которых размещены котельные ОКП «ДТКЭ», максимально можно заместить около 48 млн. м³ природного газа в год (58 млн. т у. т.) или 14 % от нужд ОКП «ДТКЭ» в топливе (~ 412 тыс. т у. т.). Но, как свидетельствует опыт использования соломы в энергетических целях в ряде европейских стран, ее потребление для производства энергии нужно поддерживать на уровне не более 1/4 от ее общего избытка. Это необходимо для того, чтобы, во-первых, не создавать дефицита соломы в регионе и не повышать на нее цену, поддерживая здоровую конкуренцию поставщиков, а, во-вторых, не истощать землю, особенно в условиях Украины, когда в нее вносится очень мало органических и минеральных удобрений. Кроме того, ОКП

«ДТКЭ» будет не единственной организацией, претендующей на использование избытков соломы.

Для демонстрации технической осуществимости и экономической целесообразности замещения ископаемых топлив соломой при производстве теплоты на первом этапе в 2008 г. предлагается реализация четырех пилотных проектов в городах Дебальцево, Торез и Селидово (на двух твердотопливных котельных, одной жидкотопливной и одной на газе), установив четыре соломосжигающих котла общей тепловой мощностью 3,18 МВт, которые заместят 1540 т у. т./год (0,4 % от нужд ОКП «ДТКЭ» в топливе). Для реализации пилотных проектов предлагаются соломосжигающие котлы периодического действия тепловой мощностью до 860 кВт, которые в настоящее время уже серийно производятся в Украине.

Дальнейшее внедрение соломосжигающих котельных (второй этап, 2009–2012 гг.) предлагается в районах и на территориях, перспективных с точки зрения запасов избыточной соломы и технических возможностей ее поставок к котельным. В основном это газовые котельные и несколько котельных на твердом и жидком топливе. На этом этапе к внедрению также предлагаются соломосжигающие котлы периодического действия, серийно выпускаемые в Украине или находящиеся на стадии освоения их серийного производства. Ожидаемое замещение ископаемого топлива биомассой составляет 6270 т у.т./год (1,5 % нужд ОКП «ДТКЭ» в топливе).

При реализации третьего этапа (дополнительное внедрение новейшего теплотехнического оборудования при достаточном финансировании) дальнейшее наращивание мощностей соломосжигающих котельных будет осуществляться как с использованием украинских котлов, так и с применением более дорогих зарубежных котлов непрерывного действия, отличающихся большой единичной мощностью (2 и 10 МВт) и высокой энергетической эффективностью. Для оценки эффективности использования мощных котлов и принятия решений относительно дальнейшего их использования предлагается установить по одному мощному котлу для отработки технологии сжигания соломы на крупных котельных. В соответствии с этим этапом дополнительно к объемам

использования соломы, достигнутым на первом и втором этапе, прогнозируется рост замещения ископаемого топлива еще на 5180 т у.т./год (1,3 % нужд ОКП «ДТКЭ» в топливе).

В итоге при выполнении всех этапов можно получить экономию ископаемого топлива 12990 т у.т./год (3,2 % нужд ОКП «ДТКЭ» в топливе).

Во всех случаях установку соломосжигающих котлов предлагается осуществлять с сохранением существующих котлов для их применения в качестве пиковых и резервных источников теплоты.

Следует отметить, что для принятия решений относительно внедрения соломосжигающих котлов на объектах ОКП «ДТКЭ» необходимо проводить соответствующие проектно-изыскательские работы с учетом всех местных условий (размещение котельной, наличие необходимой площадки для монтажа соломосжигающего котла и хранилища для хранения запаса соломы, дорог для движения большегрузного транспорта, возможность долгосрочного обеспечения котельной топливом и др.).

Оборудование, экология и оценка экономической эффективности

Для сжигания соломы используются различные подходы и оборудование [6–8]. Научно-техническая база нетрадиционной энергетики в Украине находится на достаточно высоком уровне и при соответствующем финансовом и законодательном обеспечении пригодна для массового выпуска оборудования для возобновляемой энергетики. Тем не менее на сегодняшний день промышленность Украины серийно выпускает только котлы с периодической загрузкой целых тюков соломы тепловой мощностью от 150 кВт до 860 кВт (ОАО «Южтеплоэнергомонтаж») по лицензии датской компании Passat Energi. Стоит отметить, что уже существует ряд чисто украинских разработок соломосжигающих котлов, которые в скором времени будут испытаны на реальных объектах.

В Украине потребление соломы в качестве топлива находится в начале своего развития и коммерческого уровня еще не достигло. По состоянию на 1 п/г 2007 г. в нашей стране было установлено 10 соломосжигающих котлов (из них 8

украинского производства) общей тепловой мощностью более 4 МВт. Эти котлы успешно эксплуатируются как на сельских социальных объектах (школы, ПТУ), так и в сельскохозяйственных предприятиях, причем один из котлов работает в Донецкой области (с. Златоустовка, Волновахский район, ООО «Россия»).

Ряд производителей стран Европейского Союза (Passat Energi, Lin-ka, Alcon, WEISS и др.) предлагают котлы с непрерывным (автоматическим) сжиганием целых или измельченных тюков мощностью от 400 кВт до 10 МВт и выше. Такие котлы могут применяться в системах централизованного теплоснабжения большой мощности.

При реализации программы предлагается использовать оборудование в первую очередь украинского производства. Оно самодостаточное, не требует места для установки в существующих котельных, может быть размещено под открытым небом на любой небольшой подготовленной площадке, и при готовности фундамента под теплогенератор и тепловой сети монтаж и наладка установки происходит на протяжении одного дня. Благодаря особенностям конструкции, такие котлы не подлежат регистрации в органах Госгорпромнадзора Украины. Они обслуживаются одним оператором, не нуждаются в постоянном присутствии обслуживающего персонала, при аварийном отключении электроэнергии сохраняют заданные параметры теплоносителя в системе отопления на протяжении 3...5 часов, так как они оборудованы баками-аккумуляторами горячей воды.

Как видно из табл. 2, при внедрении соломосжигающих котлов мощностью 600 кВт украинского производства простой срок окупаемости при средней цене на тюкованную солому в Донецкой области 120 грн/т и минимально возможной на сегодня цене на газ 686 грн/тыс. м³ составляет 3,9 лет. При повышении цены на газ до 1500 грн/тыс. м³ рентабельными становятся и проекты, где заложена цена соломы 240 грн/т.

Что касается замещения угольных котельных, то при цене угля от 600 грн/т будет экономически выгодно использовать и дорогую солому. В этом случае максимальный срок окупаемости проекта составит около 4 лет.

Табл. 2. Простой срок окупаемости проектов внедрения технологии сжигания соломы при использовании соломосжигающего теплогенератора RAU-2-600

Цена на солому, грн /т	120	240	120	240	120	240
Цена на газ, грн /тыс м ³	686		1000		1500	
Простой срок окупаемости, лет	3,9	> 10	2,5	8,4	1,6	2,9
Цена на каменный уголь, грн /т	450		600		900	
Простой срок окупаемости, лет	2,7	> 10	1,9	4,1	1,1	1,5

По сравнению с украинским оборудованием срок окупаемости мощных зарубежных соломосжигающих котельных при текущих ценах на газ и солому в Донецкой области довольно большой (2 МВт – 10 лет, 4 МВт – 7,8...10 лет, 10 МВт – 4,6...5,6 лет), хотя при повышении цены на газ до 1500 грн/тыс. м³ срок окупаемости уменьшается (2 МВт – 9...10 лет, 4 МВт – 5,3...6,7 лет, 10 МВт – 3,3...3,6 лет). Следует обратить внимание на тот факт, что такие котельные характеризуются высоким коэффициентом полезного действия ($\geq 90\%$) и пониженной эмиссией загрязняющих веществ (пыль – 20...40 мг/м³, СО – 200...300 ppm, NO_x – 250...350 ppm).

Выводы

1. Показано, что в сельском хозяйстве Донецкой области возможен избыток соломы зерновых культур. При соответствующей организации ее заготовки сельхозпредприятия могут стать поставщиком соломы для энергетического использования в котельных коммунальных систем теплоснабжения в селах и городах области.

2. В Украине производятся специальные котлы для сжигания тюкованной соломы, которые апробированы в условиях реальной эксплуатации, в том числе и в Донецкой области.

3. При нынешних ценах на природный газ и уголь использование соломы в качестве топлива является экономически выгодным.

4. Даже при умеренном внедрении соломосжигающих котлов на объектах ОКП «ДТКЕ» можно достичь замещения ископаемого топлива 12990 т у. т./год соломой.

Авторы искренне благодарят сотрудников ОКП «Донецктеплокоммунэнерго» за помощь в сборе исходных данных и советы при выборе объектов внедрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гелетуха Г.Г., Железна Т.А.* Заходи щодо заміщення природного газу біомасою. У книзі «Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації». – К.: Поліграфсервіс, 2007. – Т. 2. – С. 418–431.

2. *Биомасса* как источник энергии: Пер. с англ. / Под ред. С. Соуфера, О. Заборски. – М.: Мир, 1985. – 368 с.

3. *Мхитарян Н.М.* Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников энергии: опыт и перспективы. – К.: Наукова думка, 1999. – 320 с.

4. *Про стан тваринництва Донецької області за січень-липень 2007 р.* Статистичний бюлетень № 41/149 // Державний комітет статистики України. Головне управління статистики у Донецькій області. – Донецьк, 2007. – 26 с.

5. *Підсумки збору урожаю основних сільськогосподарських культур по Донецькій області у 2006 році.* Статистичний бюлетень № 6/16 // Державний комітет статистики України. Головне управління статистики у Донецькій області. – Донецьк, 2007. – 166 с.

6. *Гелетуха Г.Г., Железная Т.А.* Обзор технологий сжигания соломы с целью выработки тепла и электроэнергии // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 6. – С. 3–12.

7. *Жовмір М.М., Олійник Є.М., Чаплигін С.М.* Котли для спалювання соломи // Агросектор. – 2007. – № 6. – С. 36–37.

8. *Гелетуха Г.Г., Дрозд К.А.* Сжигание соломы для производства тепловой энергии в Украине // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2007. – № 3. – С. 26–29.

Получено 19.02.2008 г.