

УДК 338.43:620.9.003.13.(100)

*В.Т. Водяников, доктор техн. наук*  
*Н.С. Спиридонов*

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ ИЗ ОТХОДОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА ЗА РУБЕЖОМ И В РОССИИ

**В**о многих европейских государствах важное место в их топливно-энергетическом балансе занимает солома. Сжигание соломы, которая не используется как корм или подстилка для животных, в котлах специальной конструкции является рациональным способом получения тепловой энергии.

Солому очень сложно использовать в качестве топлива как на этапах сбора, транспортировки и хранения, так и непосредственно на этапе сжигания. Это связано с ее неоднородностью, относительно высокой влажностью, малым объемным энергосодержанием, низкой температурой размягчения золы и повышенным содержанием хлора.

Использование соломы для прямого сжигания является одним из способов снижения выбросов двуокиси углерода в атмосферу. Учитывая дополнительные выбросы углекислого газа, которые происходят при сборе, транспортировке и подготовке соломы для сжигания, снижение эмиссии CO<sub>2</sub> при замене угля, сжигаемого в котле, на солому составляет около 90%.

В соломе содержатся нежелательные элементы: азот, калий, хлор. Азот увеличивает эмиссию NO<sub>2</sub>, хлор и щелочные металлы могут вызвать коррозию высокотемпературных поверхностей. Содержание серы в соломе различных культур колеблется от 0,10 до 0,77% (мас). В целом содержание серы в соломе можно считать низким.

Сбор соломы и ее применение в энергетических целях оказывают влияние на состояние почвы. Вместе с растительной биомассой из почвы удаляются питательные вещества и такие необходимые элементы, как Са, Mg, К, N. Решаются указанные проблемы внесением удобрений, возвратом золы и известкованием почвы. Дополнительные затраты на удобрение почв, которые могут понадобиться при неиспользовании соломы в качестве удобрения, оцениваются примерно в 210 р./т соломы и не превышают 10% стоимости соломы как топлива.

С начала 90-х годов прошлого века и по настоящее время мировым лидером в использовании соломы в энергетических целях

является Дания. Доля соломы в общем энергопотреблении составляет около 1,5% (а биомассы в целом — около 8%). При этом три четверти соломы остается неиспользованной, ее долю можно увеличить в 4 раза — до 60 ПДж. Принятие Киотского протокола в значительной степени инициировало заинтересованность к технологиям сжигания биомассы для получения энергии. Причина заинтересованности заключается в том, что при применении соломы вместо, например, угля значительно снижаются вредные выбросы. Молдавские специалисты подсчитали, что если установить 100...150 соломосжигающих котлов средней мощности, выбросы сократятся на несколько тысяч тонн в год [1–3].

Цена на солому в Дании варьируется между 0,48 р./кВт·ч (1,2 евроцента) до 0,68 р./кВт·ч (1,7 евроцента) для тюков, доставленных на соломосжигающую станцию. В Чешской Республике цена соломы на фермах равна 0,06 р./кВт·ч для несобранной соломы и 0,08 р./кВт·ч для соломы в тюках. В табл. 1 представлены удельные затраты на 1 кВт·ч произведенного тепла, усредненные для 16 установок в Дании.

В Дании действуют 9 соломосжигающих комбинированных теплоэлектростанций (КТЭ), использующих в качестве сырья биомассу, мощностью от 2,3 до 28 МВт и от 7 до 68 МВт.

Стоимость тепловой энергии для потребителей в Дании по состоянию на 1995 г. при покупке у тепловой станции, работающей на биомассе (частично или полностью) составляла 123 360 р./ГДж (в ценах 1995 г). Указанная цена включает в себя

Таблица 1

Удельные затраты 1 кВт·ч произведенного тепла

Вид затрат	Дания (средние значения), р.	Оценки для Чешской Республики, р.
Топливо	0,76	0,1
Электричество*	0,05	0,05
Техническое обслуживание, эксплуатация и администрирование	0,52	0,1
Капитальные затраты	0,6	0,6
Всего	1,93	0,85

\* Потребление электроэнергии равно в среднем 2,3% от произведенного тепла.

следующие составляющие, р./ГДж: покупка соломы — 32 900; техническое обслуживание установки — 24 670; прибыль и амортизация оборудования — 41 120; потери тепла в сети — 24 670. По соглашению между датскими станциями КТЭ цена тепловой энергии, вырабатываемой на этих станциях, не должна превышать цену тепловой энергии, вырабатываемой на тепловых станциях, при условии использования одного вида топлива.

Был произведен экспериментальный расчет теплотворной способности соломы как топлива, по результатам расчетов были получены следующие данные:

низшая  $Q_H^p = 14\,809$  кДж/кг (3537 ккал/кг);

высшая  $Q_B^p = 16\,229$  кДж/кг (3876 ккал/кг).

Эти показатели сопоставимы с показателями теплотворной способности каменного угля, у которого диапазон составляет от 15 000 до 25 000 кДж/кг (3593...5971 ккал/кг). Однако солома значительно дешевле и экологически безопасней угля.

В качестве примера экономической эффективности подобного способа обеспечения теплотворной способностью сельскохозяйственных зданий можно привести соломосжигающий фермерский котел, установленный в 2006 г. в Украинской Республике в фермерском хозяйстве ТОВ «Рапсодия». Котел мощностью 250 кВт для обеспечения тепловой энергией мельницы. Себестоимость производимой теплоэнергии составляет примерно 157 р./Гкал, что примерно в 9 раз ниже, если бы теплоэнергия покупалась у государства или в 6 раз ниже при отоплении газом от собственной котельной.

Как подсчитали в украинской компании «Юж-теплоэнергомонтаж» (ОАО ЮТЭМ), производящей теплогенераторы на соломе по лицензии датской компании Passat Energi, срок окупаемости теплогенераторов мощностью от 150 до 1000 кВт составляет от 8 мес. до 3,5 лет (в зависимости от мощности). В среднем 2,9 т соломы заменяют 1000 м<sup>3</sup> природного газа [2].

Сжигание соломы широко применяется в Китае, на сегодняшний день там работает более 34 электростанций, использующих солому в качестве топлива для производства энергии. Суммарная мощность электростанций достигает 1200 МВт.

По расчетам специалистов дальнейшее строительство электростанций, работающих на отходах сельского хозяйства, позволит получать крестьянам ежегодно дополнительный доход в размере 150 млн р. (5 млн долл. США).

Электростанция Суцзянь в провинции Цзяньсы способна вырабатывать 156 млн кВт электроэнергии в год, 132 млн из которых будет попадать в государственную энергетическую сеть. Для этого на станции необходимо сжигать приблизительно 175 тыс. т соломы ежегодно, что равняется 98 тыс. т угля. Проект также позволяет снизить выбросы двуоксида углерода в атмосферу на 220 тыс. т в год.

Кроме того, в 2009 г. в китайской приграничной провинции Хэйлунцзян началось строительство самой крупной в Китае био-электростанции. Общая сумма инвестиций от начала строительства и до введения в работу электростанции не должна превысить 2,6 млрд р. Энергия будет вырабатываться из соломы. Годовая производительность достигнет 320 млн кВт [4].

В России начинает приобретать популярность соломосжигающее оборудование для сушки зерна. Обычно зерносушильные комплексы работают на жидком топливе (солярка или мазут), реже на природном газе. Если переоборудовать эти комплексы на сушку зерновых с помощью соломы, то подобный комплекс окупится за один-три зерносушильных сезона. Примером переоборудования зерносушильного комплекса с жидкого топлива на сушку зерновых с помощью биотоплива в России может служить агрофирма «Заря» Киреевского района Тульской области. Агрофирма перестала использовать дизельное топливо и стала применять рулоны соломы. За время эксплуатации данного комплекса, с 2005 г. агрофирма просушила около 100 тыс. т зерновых.

По подсчетам экономического подразделения агрофирмы «Заря», экономия на жидком топливе за семь лет составила около 15 млн р. Проект по реконструкции зерносушильного комплекса, в который инвестировали 3 млн р., окупился за один год [3].

Российские сельхозпроизводители недостаточно мотивированы в альтернативных способах получения тепла и электроэнергии. Установки биоэнергетического оборудования имеют точечный характер. Например, в Тульской области работают только два зерносушильных комплекса на соломе.

Причинами отсутствия интереса и мотивации служат чрезвычайно мягкие экологические требования в России и относительно дешевый природный газ. Сжигание соломы на полях является нарушением требований областных законов об охране окружающей среды, однако штрафы за это административное нарушение остаются очень низкими. Поэтому российские агропроизводители считают, что дешевле солому сжечь на полях.

Главной проблемой при использовании соломы в качестве топлива является ее низкая насыпная плотность (30...40 кг/м<sup>3</sup>), что в значительной степени влияет на увеличение стоимости транспортировки и хранения соломы, а также усложняет систему подачи соломы в топку котла.

Чтобы не оборудовать каждый котел или каждую котельную установкой для измельчения соломы, ее желательно гранулировать на специальных централизованных установках.

По данным лаборатории Incolab Services Russia S.C. (С.-Петербург) гранулы из соломы пшеницы имеют зольность 4,38 %, влажность 11,09 %, теп-

Таблица 2

**Энергоемкость топливных гранул по сравнению с другими видами топлива**

Объем топливных гранул	Топливный эквивалент
1 т	479 м <sup>3</sup> природного газа 500 л «экстра легкого» дизельного топлива 685 л мазута 5000 кВт·ч 970 кг угля
1 м <sup>3</sup>	330 л дизельного топлива 320 м <sup>3</sup> природного газа
2 кг	1 л дизельного топлива
1 кг	0,97 кг угля

лоту сгорания на рабочую основу 15,42 МДж/кг (3683 ккал/кг), содержание серы на рабочую основу 0,07 %, выход летучих веществ на рабочую основу 68,67 %. Гранулы имеют диаметр от 6 до 12 мм, длину до 25 мм и насыпную плотность 600...650 кг/м<sup>3</sup> (почти как у бурого угля), их легко транспортировать на значительные расстояния без опасности разрушения. Подача гранул в топку котла может быть легко механизирована и автоматизирована.

В качестве сравнения можно использовать теплотворную способность древесных гранул, которая равна 17,5...19 МДж/кг (4200...4560 ккал/кг).

Фактически производство биогранул из соломы может быть организовано в большинстве регионов России. Производство гранул из соломы не требует, в отличие от производства древесных гранул, сушки исходного сырья. Энергозатраты на транспортировку соломы для гранулирования составляют 0,6 % от той энергии, которую можно получить при сжигании этих гранул, а энергозатраты на гранулирование — 2,4 %. При этом у нефти эти энергозатраты составляют 10 %, а у электроэнергии — 60 %.

Переработка соломы в топливные гранулы (пеллеты) позволяет решить многие проблемы. Пеллеты из соломы обладают теплотворной способностью на единицу объема почти в 10 раз большей, чем исходное сырье. Также пеллетирование позволит решить вопросы с дорогостоящим хранением соломы независимо от времени года и транспортировкой полученного топлива; автоматизировать процесс загрузки в топочные устройства.

Котельная на соломенных топливных гранулах, работающая в Запорожской области Украины, открытая в январе 2012 г., позволяет сэкономить 30 % от ранее потребляемого природного газа. Альтернативная котельная обогревает детский сад и работает на пеллетах, производство такого топлива значительно дешевле, чем покупка природного газа у государства.

В Ставропольском крае в декабре 2011 г. начала работать первая котельная на биотопливе, на соломенных пеллетах. Топливные гранулы прессуют из соломы, которая остается на полях Ставрополья после каждой уборки урожая. Солома, остающаяся на полях Ставропольского края, ежегодно составляет миллионы тонн. Котельная управляется автоматически из центральной диспетчерской. Это экономит расходы на содержание обслуживающего персонала. Коэффициент полезного действия пеллетных котлов составляет от 80 до 90 % в зависимости от типоразмеров котлов и способа подачи топлива в топку [5].

Данная котельная обслуживает 13 жилых домов, 2 школы и 2 детских сада. Затраты на строительство составили более 24 млн р., которые планируют окупить в течение нескольких лет.

Всего в 2011 г. в рамках модернизации теплоэнергетического комплекса реконструировано 47 котельных в 18 районах края. Итоговая экономия затрат уже составляет более 24 млн р.

Топливные гранулы обладают высокой энергоконцентрацией при относительно малом занимаемом объеме. Помимо этого гранулы могут автоматически подаваться в печи и котлы с помощью различных устройств, легко транспортируются и могут «вдуваться» на склад и в транспортные контейнеры. Обобщенная сравнительно-количественная оценка энергоемкости топливных гранул представлена в табл. 2 [5].

Топливные гранулы из отходов сельского хозяйства не только сокращают затраты на топливо, но и снижают затраты на экологические налоги, которые зависят от используемого вида топлива на предприятиях. На сегодняшний день налоги на вредные выбросы в атмосферу растут, что дополнительно влияет на себестоимость произведенной продукции. Переход на топливные гранулы позволит снизить себестоимость продукции и уменьшить вредные выбросы в атмосферу.

Из-за достаточно высокой зольности соломенных топливных гранул (от 4,38 до 5 %) и низкой температуры плавления золы (735...840 °С) могут возникнуть трудности с золоудалением и исправной работой пеллетного котла. Специализированные котлы, способные работать с соломенными гранулами, разработаны и активно применяются. Так, инжиниринговая компания «Бийскэнергопроект» выпускает российские пеллетные котлы для сжигания соломенных гранул КВ-70, КВ-100 номинальной мощностью 70 и 100 кВт соответственно. В странах бывшего СССР, в Литве, выпускаются котлы марки Biokaitra компаниями с одноименным названием с номинальными мощностями 30 и 50 кВт. Подобные компании работают на Украине и в Белоруссии.

Из спектра оборудования крупных зарубежных производителей можно выделить котлы Biomaster, производящиеся в Румынии, котлы итальянской фирмы Fасі, имеющей свое официальное представительство в России, эти котлы имеют широкий диапазон мощности от 16 до 1394 кВт. Аналогичные пеллетные или комбинированные горелки (способные работать не только на пеллетах, но и на угле, дровах или жидком топливе) производят Дания, Австрия, Германия, Латвия, Швеция и другие страны. Быстроразвивающийся рынок биотоплива способствует развитию и модернизации рынка по производству оборудования.

Избыток соломенных гранул можно продать по выгодной цене либо местным потребителям этого вида топлива, либо экспортировать его за границу. Среднерезализационные цены в России на сегодняшний день варьируются от 4800 до 6400 р. за 1 т при продаже на экспорт. Для покупателей из России розничная цена составляет от 4500 до 5500 р. за тонну гранул.

Солома и соломенные пеллеты являются местными видами топлива, экологически нейтральными, возобновляемыми, побочными продуктами производства зерна, поэтому можно сделать ряд выводов в пользу производства и применения топливных гранул из соломы. Во-первых, соломенные пеллеты в отличие от тюкованной соломы имеют большую теплоту сгорания, занимают меньшую площадь при хранении, так как

имеют большую насыпную плотность. Во-вторых, пеллеты можно перевозить на большие расстояния, не опасаясь слишком высоких транспортных затрат. В-третьих, пеллеты имеют низкую влажность и высокую пожаробезопасность. В-четвертых, пеллетное оборудование занимает меньшую площадь по сравнению с соломосжигающим оборудованием. В-пятых, автоматизированная подача пеллет легко осуществляется как в топку горелки, так и в места складирования. В-шестых, избыток топливных гранул можно выгодно продать, получив дополнительный доход, который позволит снизить себестоимость производимой продукции.

#### Список литературы

1. Heat Production from Grain and Rape-straw in Schleswig-Holstein//Proc. of Europ. Workshop, Neumunser, Germany, 22–23 May, 1995. — Copenhagen: Energy Centre Denmark, 1995. — 36 с.
2. Гелетуха, Г.Г. Обзор технологий сжигания соломы / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная // Энергетика и промышленность России. — 2006. — № 6 (70). — С. 21–29.
3. Харитонов, Д. Соломенное тепло / Д. Харитонов // Агропрофи. — 2011. — № 7 (30). — 52 с.
4. Evald, A. Biomass for Energy — Danish Solutions / A. Evald. — Copenhagen: Danish Energy Agency, 1996. — 36 с.
5. Nikolaisen L., Nielsen C, Larsen M.G. Straw for Energy Production. Technology — Environment — Economy / L. Nikolaisen, C. Nielsen, M.G. Larsen. — Aarhus: EN-TRYK, 1992. — 48 с.

УДК 338.2: 636.5

*О.Н. Васильева*

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева

*А.К. Джанибеков*

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНЫХ ФОРМ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА В ПТИЦЕВОДСТВЕ

Реформирование экономики России в последние 10 лет проводилось без достаточного научного обоснования необходимости осуществления преобразований, анализа их последствий, что привело к тяжелому кризисному состоянию животноводства в стране. Кризисные явления поразили и птицеводство: мясные птицефабрики резко уменьшили выращиваемое поголовье, прекратили свою деятельность многие репродукторы 1-го и 2-го порядка, закрылось большинство мощностей по переработке птицы на мясо, сократились связи с комбикормовыми производствами. Птицеводство по своей природе высокоинтегрирован-

ная отрасль животноводства с четко сформированными тесными связями всех звеньев производства. В связи с разрушением традиционных связей были нарушены производственные пропорции в структурах птицеводства, что могло отрицательно сказаться на эффективности производства. Поэтому для удовлетворения потребности населения в качественной отечественной продукции, повышения конкурентоспособности отрасли, снижения издержек необходим взгляд на производство и переработку птицы как на целостную единую систему и это является залогом высокоэффективной работы всех звеньев птицеводства [1].