

УДК 631.172

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛОМЫ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ

© 2013 г. М.А. Таранов, А.С. Касьянов

В связи с повышением доли парниковых газов в атмосфере и роста цен на энергоносители вопрос применения альтернативных источников энергии особенно актуален. В работе представлены пути решения проблемы, связанные с применением биомассы в системах когенерации энергии для промышленных и бытовых потребителей.

**Ключевые слова:** биомасса, альтернативные технологии, преобразователь, энергообеспечение, двигатель Стирлинга.

A question of the alternative energy sources application is especially actually due to the increase of the greenhouse gases share in atmosphere and a rise in prices for energy carriers. Solutions of problems connected with the application of biomass in energy cogeneration systems for industrial and household consumers are submitted.

**Key words:** biomass, alternative technologies, transmitter, power supply, the Stirling engine.

Современные общемировые тенденции развития источников энергии направлены в область альтернативных технологий. Потенциально важным для сельскохозяйственных регионов видом биомассы является солома зерновых культур. Этот вид биомассы в России в энергетических целях практически не используется. Излишки соломы зачастую просто сжигаются на полях [1].

Южный федеральный округ располагает 36% общероссийских запасов соломы и отходов АПК. Урожай зерновых на Дону – в среднем 8 млн тонн. Это примерно 7,2 млн тонн соломы [2].

Солома – это довольно высококалорийное топливо. Солома массой 2,5 кг влажностью до 20% может заменить один литр дизельного топлива или один кубометр природного газа и при сжигании дает 10 кВт·час тепловой энергии. Один рулон соломы плотностью 105 кг/м<sup>3</sup> диаметром 1,8 м и длиной 1,2 м заменит около 140 литров дизельного топлива или 140 м<sup>3</sup> природного газа. Самым главным плюсом соломы как топлива является то, что при быстром горении она выделяет столько же CO<sub>2</sub>, как и при естественном распаде. И поэтому она является одним из наилучших экологически чистых видов топлива.

Солома содержит хлор, соединения которого вызывают коррозию теплообменного оборудования, причем в «желтой» (свежеубранной) соломе его почти в 4 раза больше, чем в «серой» (увядшей). Считается, что для вымывания хлоридов из соломы достаточно 5–7 дней.

Главной же проблемой при использовании соломы в качестве топлива является ее низкая насыпная плотность (30–40 кг/м<sup>3</sup>), что удорожает транспортировку и хранение соломы, а также усложняет систему подачи соломы в топку котла.

Только в Ростовской области мы каждый год теряем почти 27 тысяч тонн дизельного топлива или столько же кубометров природного газа. Причем эту энергию в основном просто сжигают на полях. В России отходы сельского хозяйства сегодня – почти невостребованный ресурс. Например, используется лишь 10% всего объема соломы (в основном, в животноводстве, в качестве подстилки скоту, как добавка в корма).

Между тем, масса накопления соломы злаковых и крупяных культур в России за год составляет 80–100 млн тонн. Элементарный состав соломы и теплота ее сгорания не слишком отличаются от соответствующих показателей для древесины, хотя теплота сгорания соломы ниже, чем у

сухой древесины. С другой стороны, с учетом обычной для соломы влажности ниже 20%, теплота сгорания соломы оказывается выше, чем у древесной щепы, которая в настоящее время начинает широко использоваться в северо-западных и восточных регионах России и давно используется в странах Северной Европы.

Солому заготавливают в виде брикетов или тюков. Для сжигания соломы требуются котлы, имеющие специальную конструкцию, учитывающую особенности данного вида топлива.

Одной из простейших является конструкция котла, позволяющая сжигать солому в виде тюков или брикетов. Котел такой конструкции работает периодически: тюк или брикет соломы с помощью фронтального подъемника загружают через открытую топочную дверцу котла, топливо поджигается и дверца закрывается. Подача дутьевого воздуха и его распределение по объему топки регулируется по мере выгорания тюка или брикета соломы. По мере прогорания тюка или брикета соломы теплопроизводительность котла падает. Чтобы нивелировать падение теплопроизводительности, котел такой конструкции оборудуется баком для горячей воды (аккумулятором).

В европейских странах использование соломы – это высокодоходный и уважаемый в обществе бизнес, решающий задачи экологии, сельского хозяйства, строительства и энергетики.

Солома – это горячий воздух, горячая вода, пар, электроэнергия.

Экономическая выгода очевидна в связи с использованием дешевого сырья. Себестоимость тонны соломы в поле около 10 €.

Проблема применения зарубежных технологий в нашей стране прежде всего возникает из-за различия технологий. Здесь под словом технология имеются ввиду способы уборки и хранения соломы. Они очень дорогие и не являются пока что ликвидными в нашей стране в связи наличием многочисленных углеводородистых источников энергии.

Как известно, основная часть электроэнергии вырабатывается за счет сжигания ископаемого сырья. Полученное при этом тепло используется, например, для

образования пара, который вращает турбину, присоединенную к генератору. Таким образом, главным методом получения электроэнергии является не прямое преобразование тепла, сопряженное с весьма существенными энергетическими потерями. Однако запас ископаемого топлива не бесконечен, поэтому особое внимание сегодня уделяется возобновляемым источникам энергии.

*Использование в качестве источников тепловой энергии биомассы.* Наибольшее предпочтение отдается соломе, которая является отходом при возделывании зерновых культур. В существующих установках для сжигания соломы полученное тепло используется для нагрева воздуха, для сушки зерна и нагрева воды для отопления. Также существуют установки по газификации и пиролизу соломы. Газификация соломы представляет интерес с точки зрения замены ископаемых видов топлива биомассой соломы. Газ из газификатора может использоваться в газовом двигателе внутреннего сгорания, приводящем во вращение электрогенератор.

Существуют следующие пути получения электрической энергии из тепловой.

*Паровые машины.* Для привода электрогенератора можно использовать паровую машину (рис. 1) [5], источником тепла для работы служит сжигаемая солома. Основное достоинство такой установки – ее относительная простота и хорошие тяговые характеристики парового двигателя независимо от скорости работы.

К серьезным недостаткам при использовании в качестве привода электрогенератора паровых машин относятся их низкий КПД (практический КПД до 8%), низкая максимальная частота, большой вес и постоянный расход топлива и воды [7].

*Термоэлектрические преобразователи.* Известны способы преобразования тепловой энергии в электрическую с помощью термоэмиссионного генератора, работающего на основе эффекта Пельтье.

Эффект Пельтье – термоэлектрическое явление, при котором происходит выделение или поглощение тепла при прохождении электрического тока в месте контакта (спая) двух разнородных проводников (рис. 2) [4].

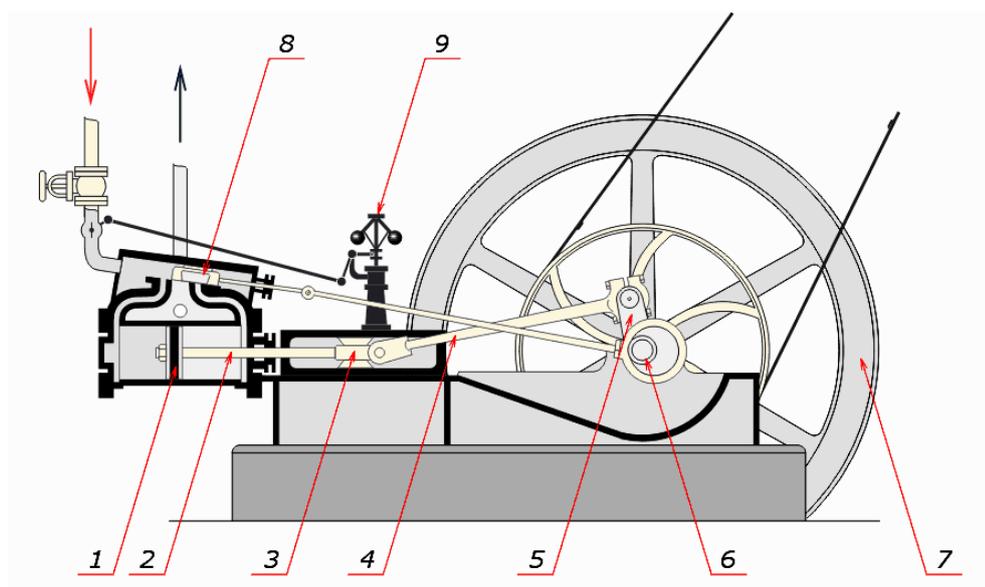


Рис. 1. Схема паровой машины:

1 – поршень; 2 – шток поршня; 3 – ползун; 4 – шатун; 5 – коленчатый вал; 6 – эксцентрик для привода клапана; 7 – маховик; 8 – золотник; 9 – центробежный регулятор

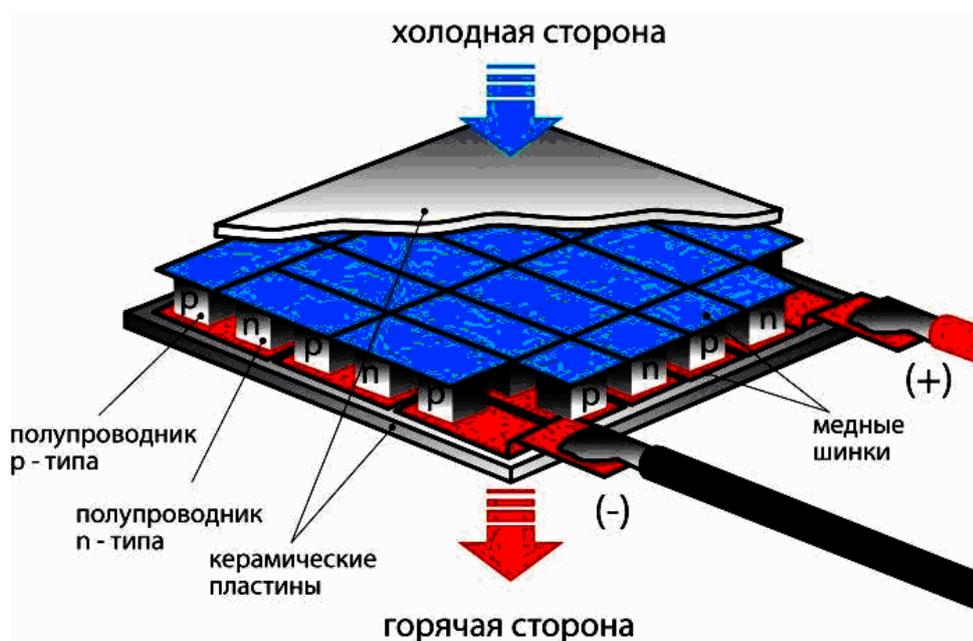


Рис. 2. Схема элемента Пельтье

Величина выделяемого тепла и его знак зависят от вида контактирующих веществ, направления и силы протекающего электрического тока:

$$Q = \Pi_{AB}I = (\Pi_B - \Pi_A)I,$$

где  $Q$  – количество выделенного или поглощенного тепла;

$I$  – сила тока;

$\Pi$  – коэффициент Пельтье, который связан с коэффициентом термо-ЭДС  $\alpha$  со-

отношением Томсона  $\Pi = \alpha T$ , где  $T$  – абсолютная температура в К [4].

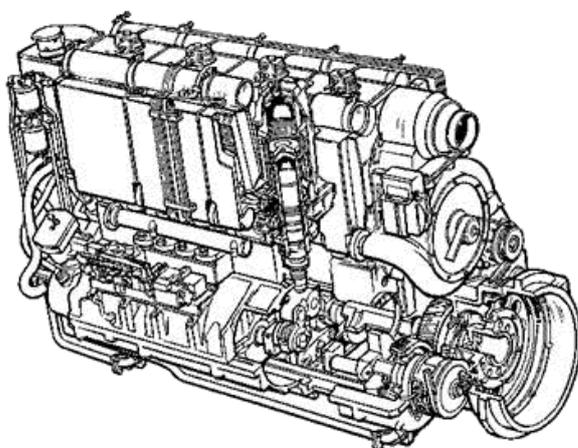
Установка состоит из источника тепловой энергии, последовательно соединенных секций из последовательно соединенных термоэмиссионных трехэлектродных элементов и источника электрической энергии, положительный и отрицательный, полюса которого подключены соответственно к аноду и сетке первого тер-

моэмиссионного трехэлектродного элемента, при котором сетки термоэмиссионных элементов каждой секции электрически соединены, а анод первого термоэмиссионного трехэлектродного элемента каждой секции подключен к сеткам термоэмиссионных трехэлектродных элементов следующей секции [4].

Известный способ характеризуется усовершенствованием приема получения направленного потока электронов тепловой эмиссии, однако имеет невысокий коэффи-

циент преобразования тепловой энергии в электрическую, коэффициент полезного действия (КПД) термоэмиссионного генератора не превышает 10%.

*Двигатели внутреннего сгорания.* Для преобразования соломы в электроэнергию можно использовать электрогенератор, приводимый в действие двигателем внутреннего сгорания – газовую электростанцию. Такая установка может работать на газе, производимом газогенераторной установкой из соломы (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Двигатель внутреннего сгорания: а – схема; б – двигатель

Однако для питания такой установки необходимо большое количество газа высокого давления. Заведомо можно сказать, что КПД такой установки из-за тройного преобразования энергии будет невысоким.

*Двигатель Стирлинга.* Особый интерес для применения в качестве привода электрогенератора представляет двигатель Стирлинга (рис. 4) [6]. В этом двигателе в качестве рабочего тела может использоваться горячий воздух, гелий или водород.

В двигателе Стирлинга энергия поступает в двигатель и отводится от него через стенки цилиндра или теплообменник. Цикл Стирлинга основан на последовательном нагревании и охлаждении газа (его называют рабочим телом) в замкнутом объеме. Рабочее тело нагревается в горячей части двигателя, расширяется и производит полезную работу, после чего перегоняется

в холодную часть двигателя, где охлаждается, сжимается и снова подается в горячую часть двигателя. Цикл повторяется. Количество рабочего тела остается неизменным, меняются его температура, давление и объем. Весь цикл условно разделен на четыре такта. Условность заключается в том, что четкое разделение на такты в цикле отсутствует, процессы переходят один в другой. Это обусловлено отсутствием в конструкции двигателей Стирлинга клапанного механизма (стирлинг-двигатели с клапанным механизмом называются двигателями Эриксона).

Установка с двигателем Стирлинга имеет определенные преимущества по сравнению с установками с паровыми машинами, а именно, слабое воздействие на окружающую среду и довольно высокий КПД.

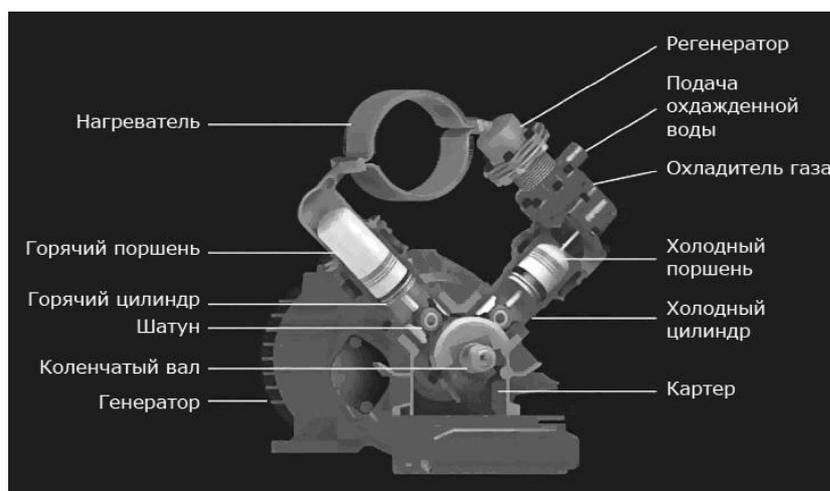


Рис. 4. Схема двигателя Стирлинга

### Выводы

На наш взгляд, перспективным направлением является создание систем энергоснабжения на соломенных рулонах в качестве альтернативных источников тепла для выработки электричества и горячей воды, адаптированных к российским условиям.

Задачу альтернативного энергоснабжения для сельскохозяйственных потребителей предлагается решить с помощью мини-котельной. Топливом для данного устройства будут являться рулоны соломы, собранные пресс-подборщиком рулонным ППР-120 PELIKAN 1200, производимым на заводе «Ростсельмаш» [3].

Котельную установку планируется подключать к действующим системам теплоснабжения. Тепловой мощности котельной будет достаточно для отопления в зимний период.

### Литература

1. Использование соломы зерновых культур в качестве топлива [Электронный ресурс] /Режим доступа: URL: [http://escosys.narod.ru/2011\\_7/art025.pdf](http://escosys.narod.ru/2011_7/art025.pdf).
2. Альтернативное топливо. Переработка отходов сельского хозяйства [Электронный ресурс] /Режим доступа: URL: <http://www.ipa-don.ru/offers/projects/altt>.
3. Зерноуборочная, зерноперерабатывающая, коммунальная и кормоуборочная техника [Электронный ресурс] /Режим доступа: URL:<http://www.kleverltd.com>.
4. Плита Пельтье [Электронный ресурс] /Режим доступа: <http://minilabnews.ru/fro.html>.
5. Паровая машина [Электронный ресурс] /Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/22285>.
6. Двигатель Стирлинга [Электронный ресурс] /Режим доступа: <http://www.powercity.ru/site/ru/catalog/364.html>.
7. [Электронный ресурс] /Режим доступа: [http://www.vuselibig.ru/w/parovaya\\_mashina\\_-\\_koeffitsient\\_poleznogo\\_deystviya](http://www.vuselibig.ru/w/parovaya_mashina_-_koeffitsient_poleznogo_deystviya).

### Сведения об авторах

**Таранов Михаил Алексеевич** – член-корреспондент РАСХН, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации энергетического оборудования и электрических машин Азово-Черноморской государственной агроинженерной академии (г. Зерноград).

**Касьянов Алексей Сергеевич** – аспирант кафедры эксплуатации энергетического оборудования и электрических машин Азово-Черноморской государственной агроинженерной академии (г. Зерноград). E-mail: [alexei.kas@mail.ru](mailto:alexei.kas@mail.ru).

**Information about the authors**

**Taranov Mikhail Alexeevich** – corresponding member of the Russian Academy of Agricultural Sciences, Doctor of Technical Sciences, head of the Operation of power installations and electrical machines department, Azov-Black Sea State Agroengineering Academy (Zernograd).

**Kasyanov Alexey Sergeevich** – post-graduate student of the Operation of power installations and electrical machines department, Azov-Black Sea State Agroengineering Academy (Zernograd). E-mail: alexei.kas@mail.ru.

УДК 621.316.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОЙ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВОЙ  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 0,38 КВ С НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКОЙ,  
ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ ТОКИ ЧАСТОТОЙ 150 ГЦ**

© 2013 г. *Ю.И. Ханин*

Представлены результаты моделирования распределения тока основной частоты сети и тока частотой 150 Гц при включении бытовой нагрузки сети 0,38 кВ. Получены результаты моделирования распределения тока частотой 150 Гц одного мощного нелинейного потребителя в сети при его различном расположении в сети.

**Ключевые слова:** моделирование, нелинейная нагрузка, токи частотой 150 Гц, сельская коммунально-бытовая сеть 0,38 кВ.

Results of modeling of the current fundamental frequency and 150 Hz frequency distributions at the 0,38kV network household load are presented. Results of modeling of 150 Hz frequency current distribution of one powerful nonlinear consumer at various placements in a network are received.

**Key words:** modeling, nonlinear load, 150 Hz frequency current, rural communal-network.

В настоящее время происходит насыщение узлов нагрузки электронной бытовой техникой. Как известно, большинство бытовых приборов являются нелинейной нагрузкой. Энергосберегающие лампы, телевизоры, компьютеры, микроволновые печи и другие потребители искажают форму кривой тока сети. Наиболее значимой из вносимых гармоник является третья, так как она является преобладающей в спектре как фазных токов, так и в спектре тока нулевого провода.

Характер распределения тока основной частоты в сети давно известен и изучен. Распределение токов высших гармоник несколько отличается от распределения тока основной частоты. Расположение источников высших гармоник, увеличение

индуктивного и снижение емкостного сопротивлений, повышенное сопротивление нулевой последовательности сети и трансформаторов – всё это оказывает влияние на характер распределения токов высших гармоник. Проведение измерений токов высших гармоник по участкам действующей сети 0,38 кВ является трудновыполнимой задачей, вследствие чего распределение токов высших гармоник по участкам сети остается малоизученным.

В связи с вышеизложенным была разработана модель среднестатистической сельской коммунально-бытовой сети 0,38 кВ с нелинейной нагрузкой, генерирующей токи частотой 150 Гц.

Модель среднестатистической сельской коммунально-бытовой сети была со-