

for vegetable production in protected and open ground as well as maintenance and energy support for agricultural production.

Keywords: Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, scientific-engineering complex of Siberia, engineering tools.

УДК 662.87.051

**В.Н. ДЕЛЯГИН, доктор технических наук, старший научный сотрудник,
Н.М. ИВАНОВ, доктор технических наук, директор,
В.И. МУРКО*, доктор технических наук, заместитель директора,
В.И. ФЕДЯЕВ*, директор,
В.П. МАСТИХИНА*, заместитель директора**

*Сибирский научно-исследовательский институт механизации
и электрификации сельского хозяйства,
*ЗАО «Научно-производственное предприятие «Сибэкотехника»
e-mail: sibime@ngs.ru*

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ АПК И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

Приведена оценка существующего состояния систем энергообеспечения сельскохозяйственного производства Новосибирской области. Представлены результаты исследования энергетических, экономических и экологических показателей существующих источников тепловой энергии – среднегодового коэффициента использования топлива, себестоимости производства и структуры использования энергоресурсов. Приведены результаты исследования режимов работы тепловых установок, использующих водоугольное топливо. Разработаны элементы технологии использования водоугольного топлива в сельскохозяйственном производстве Сибири. Обоснованы возможные объемы эффективного использования данного топлива и его предельная цена в Западной Сибири.

Ключевые слова: энергообеспечение, водоугольное топливо, параметры режима горения, эффективность, сельское хозяйство.

Суммарная установленная мощность всех энергетических установок в Новосибирской области в начале 90-х годов XX в. достигла 7×10^6 кВт, что составляло около 7 кВт на одного сельского жителя. Стационарные тепловые установки определяют эффективность и объемы используемых энергоносителей. В 2012 г. суммарное потребление энергоресурсов сельскими районами области достигло 1400–1500 тыс. т у. т. (экспертная оценка). В структуре потребления энергоресурсов доминирующую роль занимает уголь – 38 %, сетевой газ – 13, сжиженный газ – 9, дистилляты – 13, дрова – 13 %.

В настоящее время в структуре себестоимости сельскохозяйственной продукции регионов Сибири доля оплаты за энергоносители достигает 15–28 %. Предполагаемое повышение цен на топливо в течение 3–5 лет может увеличить это значение до 30–35 %. Стоимость отпускаемой тепловой энергии для котельных мощностью до 2 Гкал/ч достигает 1600–2200 р./Гкал

(сельскохозяйственная зона Западной Сибири). В то же время среднегодовой коэффициент использования топлива не превышает 30 % [1].

Распределение потребления топлива по технологическим процессам (2012 г.) для основных категорий потребителей – производства продукции АПК, объектов соцкультбыта, населения – представлено в табл. 1.

Суммарные затраты на оплату потребленного топлива и электроэнергии данной категории потребителей по Новосибирской области оцениваются в 10–12 млрд р./год. В табл. 2 приведены значения себестоимости тепловой энергии для энергоисточников (котельных) мощностью 600 и 1500 кВт. Тепловая нагрузка – системы отопления объектов соцкультбыта (время использования максимума нагрузки – 2500 ч/год).

Удельные выбросы вредных веществ небольших энергоустановок достигают следующих значений: двуокиси серы 0,26–1,30 кг/ГДж, двуокиси азота 0,20–0,30, окиси углерода 2,60–2,70, пыли 0,57–0,80 кг/ГДж. Летучая зола малых теплогенерирующих энергоустановок в сельской местности содержит бензо(а)пирен и другие полиароматические углеводороды в десятки тысяч раз выше, чем для крупных ТЭЦ [2]. В случае сушки сельскохозяйственного сырья без теплообменников (наиболее распространенный случай) все вредные вещества включаются в пищевую цепь, что может привести к катастрофическим последствиям.

Таблица 1
Потребление энергоресурсов по технологическим процессам, тыс. т у. т.

Технологический процесс, группа	Производство	Объекты соцкультбыта	Население
Отопление:			
уголь	21	238	285
дрова			183
сетевой газ		10	2
ГВС, пищеприготовление (сжиженный газ, дрова)			130
ГВС, кормоприготовление (электроэнергия, газ)	17		
Освещение, электропривод и др. (электроэнергия)	84	42	84
Мобильные процессы (дистилляты)	141		
Сушка зерна (дистилляты)	49		
Тепловые процессы в птицеводстве (сетевой газ)	83		
Тепловые процессы в свиноводстве (сетевой газ)	56		

Таблица 2
Значения себестоимости тепловой энергии при использовании различного топлива (дефлированные/прогнозные цены), р./Гкал

Топливо	Мощность, кВт	
	600	1500
Дистилляты	5800/9700	5580/9000
Мазут	1100/1700	900/1400
Газ	1500/2500	1300/2200
Уголь каменный	1700/2800	1600/2600
Уголь бурый	1400/2200	1100/1800

Решением данной проблемы является создание и использование искусственного жидкого топлива, имеющего потребительские свойства жидкого топлива, а цену, сопоставимую с ценой угля, – водоугольного топлива (ВУТ). По своим характеристикам ВУТ аналогично жидкому топливу, поэтому процессы его транспортировки, хранения, топливоподачи и сжигания также аналогичны.

Характеристики процесса сжигания водоугольного топлива в энергетических установках мощностью до 1,5 МВт. Исследования сжигания суспензионного водоугольного топлива проведены на опытно-промышленных установках ЗАО НПП «Сибэкотехника» и Сибирского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства. Вихревой способ сжигания, реализованный в данных установках, обеспечивает максимальное выгорание угольных частиц, используя механизмы внутренней стабилизации горения, характерные для вихревых топок.

Стабилизация горения в вихревых топках обеспечивается тем, что горячие продукты горения направляются в корень факела и этим обеспечивают его надежное воспламенение при сравнительно низкой температуре. Активная вихревая аэродинамика, создаваемая в камере тангенциальной подачи дутья, используется для глубокого выжигания и уноса летучих и подавляет эмиссию вредных веществ благодаря активному перемешиванию. Кроме того, в связи с вихревой аэродинамикой в несколько раз увеличивается время нахождения частиц топлива в зоне горения, что также положительно сказывается на уровне вредных выбросов. Параметры работы вихревых топок приведены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры работы вихревой камеры сжигания

Параметр	Значение
<i>Водогрейный котел</i>	
Расход дутьевого воздуха, м ³ /ч	330–550
Давление сжатого воздуха на распыл ВУТ, МПа (кгс/см ²)	0,1471–0,1961 (1,5–2,0)
Расход топлива, кг/ч	30–130
Коэффициент избытка воздуха	3,3–3,9
Температура газов, °С:	
в топке	900–1200
перед котлом	690–800
после котла	230–275
<i>Теплогенератор (ТГ)</i>	
Расход дутьевого воздуха, м ³ /ч	–
Давление сжатого воздуха на распыл ВУТ, МПа (кгс/см ²)	0,1471–0,1961 (1,5–2,0)
Расход топлива, кг/ч	26–100
Коэффициент избытка воздуха	1,55–3,91
Температура газов, °С:	
в топке	940–1030
перед котлом	610–700
после теплообменника	230–187

Содержание твердой фазы в пробах ВУТ из каменных углей практически постоянно и колеблется в небольших пределах – от 60 до 65 %. Исключение составляет топливо из бурого угля, содержание твердой фазы в котором 47 %, что обусловлено высоким содержанием влаги в исходном угле.

Для оценки динамики изменения параметров процесса на различных стадиях горения ВУС – разогрев топki, горение ВУС, выключение ТГ – на автоматизированном экспериментальном стенде (СПТ-961 – ПК РС, рис. 1) проведены исследования, позволившие сформировать исходные требования на систему управления теплогенератором.

Большая часть исходной влаги химически связана с частицами угля и не участвует в образовании жидкой структуры топлива. Содержание серы в кузбасских каменных углях незначительно. При сжигании партий ВУТ из этих углей практически не образуется двуокись серы SO_2 . Содержание CO при стабилизированном режиме горения топлива во всех опытах невысокое, в 1,5–3,0 раза меньше нормативных значений. Во всех случаях содержание CO в газовых выбросах снижается с ростом температуры в топке вследствие уменьшения химического недожога. Содержание NO_x также существенно ниже нормативного значения.

Пример реализации исследований по оценке динамики процесса горения представлен на рис. 2.

Конструкция форсунки обеспечивает необходимое качество распыления топлива. Полученные результаты позволяют рассчитать объем подаваемого для смешивания воздуха в сушильные камеры без превышения ПДК вредных веществ. Выбросы основных поллютантов при оптимальных параметрах процесса горения в 2–3 раза ниже, чем при использовании традиционного альтернативного топлива в сопоставимых условиях (табл. 4). Данная конструкция теплогенератора обеспечивает практически полное сгорание топлива при коэффициенте избытка воздуха на выходе из топki 1,5–1,6.



Рис. 1. Экспериментальный стенд и система управления теплогенератором

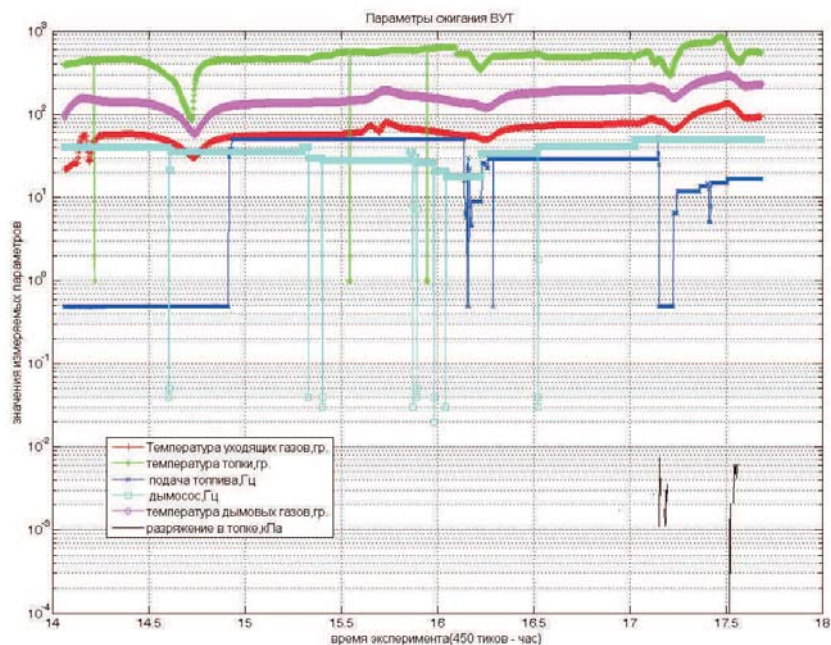


Рис. 2. Динамика процессов горения ВУТ в теплогенераторе

Таблица 4

Содержание вредных веществ в отходящих газах

Показатель	Уголь марки СС (горение в слое)	Результаты сжигания партий ВУТ (мг/м ³), приготовленного на основе			
		угля марки Д (ТГ)	шламов марки ССШ (котел)	шламов ОФ ОАО «Междуречье» (котел)	кека ОФ «Щедрухинская» (котел)
Массовая доля твердой фазы, %	82	62	64,5	62,6	63
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	20,89	17,31	16,18	16,01	15,07
Вязкость, мПа × с	–	420	355	563	385
Расход ВУТ, л/ч	–	90	60	60	95
Давление ВУТ, атм	–	1,8	1,7	1,5	1,5
Температура в топке, °С	900	1030	1100	1050	1150
CO ¹ , мг/м ³	320	7	210	110	1,8
NO _x ² , мг/м ³	270	215	280	244	122
SO ₂ ² , мг/м ³	0	0	0	30	0

КПД энергоустановки по результатам эксперимента составил 0,75–0,85. Проведенные исследования позволили определить нижний диапазон мощности теплогенератора, при котором наблюдается устойчивое горение ВУТ.

Расчет экономической эффективности использования ВУТ. Расчет проведен по методике оценки эффективности участия в проекте для предприятий и акционеров с учетом инфляции [3].

Допущения и ограничения, принятые в расчете: строительство ведется за счет собственных и заемных средств в равных объемах; срок проекта 20 лет, срок проектирования и строительства 2 года, срок кредита 5 лет, размер выплат по кредиту 11,6 %, ставка дисконта – 10 %, процент на депозитный вклад 7 %. Стоимости энергоносителей по годам проекта, уровень инфляции, темп роста заработной платы и другие макроэкономические показатели приняты по данным Минэкономразвития РФ [4, 5]. Экономический эффект от использования ВУТ формируется в основном за счет повышения коэффициента использования топлива, определенного по результатам экспериментальных исследований.

В качестве альтернативных вариантов рассмотрены котельные, работающие на каменном угле и мазуте. Результаты расчета представлены в табл. 5, зависимость срока окупаемости от режимных характеристик источника тепловой энергии – в табл. 6. Анализ результатов показал, что себестоимость единицы тепловой энергии в процессах сушки сельскохозяйственного сырья при использовании ВУТ в 2–3 раза ниже, чем при использовании традиционного топлива.

Анализ результатов расчета себестоимости позволяет сделать вывод о существенном снижении затрат на производство тепловой энергии при едином энергетическом центре (капиталовложения уменьшаются в 1,38 раза, эксплуатационные затраты – в 1,5 раза) за счет существенного (до 2700 ч/год) увеличения времени использования максимума нагрузки.

Эффективные объемы использования ВУТ для сельских районов. Определение перспективных объемов потребления ВУТ по сельскохозяйственным районам Сибири с учетом прогноза развития систем энергообеспечения проведено в соответствии с методикой, изложенной в работе [6]. Предельная цена ВУТ, используемого в тепловых установках сельскохозяйст-

Таблица 5

Показатели экономической эффективности отопительных котельных

Показатель эффективности	ВУТ	Уголь	Мазут
Чистый дисконтированный доход, р.	5707317	2055053	–11858420
Срок окупаемости, год:			
простой	8,89	12,80	–
дисконтированный	10,94	17,20	–
Себестоимость тепловой энергии, средняя за период, р./Гкал:			
дефлированные цены	1274	1644	2961
прогнозные цены	2063	2684	4897
Внутренняя норма доходности, о.е.	0,210	0,13	–

Таблица 6

Зависимость срока окупаемости от параметров режима работы

Время использования максимума нагрузки, ч/год	Мощность, кВт				
	300	600	900	1200	1500
500	–	–	–	–	–
1500	–	12,85	12,08	11,78	11,75
2500	13,56	10,06	9,25	8,89	8,85
3500	12,20	8,62	7,52	7,45	7,41

венного назначения, находится в диапазоне 1000–1300 р./т у.т. При данной цене ВУТ область использования следующая:

– системы отопления коммунально-бытовых потребителей единичной мощностью 4–10 кВт и временем использования максимума нагрузки около 3000 ч/год. Объем возможного использования составляет от 0,850 млн т у.т. для Восточной Сибири до 1,550 млн т у.т. для Западной Сибири;

– системы теплоснабжения подсобных производственных помещений единичной мощностью 10–30 кВт и временем использования максимума нагрузки 2000 ч/год. Объем возможного потребления от 0,100 млн т у.т. для Восточной Сибири до 0,200 млн т у.т. для Западной Сибири;

– системы обеспечения нормируемого температурно-влажностного режима животноводческих помещений единичной мощностью от 100 до 400 кВт и временем использования максимума нагрузки 1600 ч/год. Объем использования от 0,200 млн т у.т. для Восточной Сибири до 0,600 млн т у.т. для Западной Сибири.

При цене ВУТ около 1300 р./т у.т. и выше использование его для отопления коммунально-бытовых потребителей становится неэффективным. При цене ВУТ около 2000 р./т у.т. эффективно теплоснабжение прочих производственных потребителей с максимальной тепловой мощностью не более 200 кВт (склады, объекты соцкультбыта).

ВЫВОДЫ

1. Определены условия эффективного использования водоугольного топлива как альтернативного источника энергии для тепловых процессов АПК. Разработана технология использования ВУТ и отработаны конструктивные решения теплогенераторов, работающих на водоугольном топливе. Экономический эффект от использования ВУТ составляет от 500 до 5000 р./Гкал.

2. Предельная цена ВУТ в большинстве случаев составляет 1300–1400 р./т у.т.

3. Общий эффективный объем использования ВУТ в тепловых процессах АПК Западной и Восточной Сибири может быть оценен в размере 1,100–2,300 млн т у. т.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Делягин В.Н., Иванов Н.М., Мурко В.И., Ревякин Е.Л. Использование водоугольного топлива в энергообеспечении АПК. – М.: Росинформгротех, 2013. – 92 с.
2. Филлипов С.П., Павлов П.П., Кейко А.В. и др. Экологические характеристики источников малой мощности. – Иркутск, 1999. – 48 с.

3. **Методические** рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: 3-е изд., испр. и доп. / В.Г. Коссов, В.Н. Лившиц, А.Г. Шахназаров. – М., 2008. – 237 с.
4. **Сценарные** условия долгосрочного прогноза социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 г. Министерство экономического развития Российской Федерации. – М., 2012. – 61 с.
5. **Иванов Н.М.** Энергетический анализ технологических процессов сушки зерна // Механизация, автоматизация и электрификация технологических процессов сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. – Новосибирск, 2000.
6. **Деягин В.Н.** Оптимизация параметров систем энергообеспечения сельскохозяйственных потребителей (тепловые процессы). – Новосибирск, 2005. – 300 с.

Поступила в редакцию 11.09.2014

**V.N. DELYAGIN, Doctor of Science in Engineering, Senior Researcher,
N.M. IVANOV, Doctor of Science in Engineering, Director,
V.I. MURKO*, Doctor of Science in Engineering, Deputy Director,
V.I. FEDYAEV*, Director,
V.P. MASTIKHINA*, Deputy Director**

*Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture,
Russian Academy of Agricultural Sciences,*

**CSC Scientific Production Enterprise "SibEcoTechnica"
e-mail: sibime@ngs.ru*

POWER SUPPLY FOR AGRIBUSINESS INDUSTRY AND OUTLOOK FOR THE USE OF COAL-WATER FUEL

A current state of power supply systems for agricultural production in Novosibirsk Region has been assessed. Results are given from a study of energy, economic and environmental indices of existing thermal energy sources, these are average annual fuel utilization factor, cost of energy resource production and use. Results are given from investigations into modes of thermal power plants, which use coal-water fuel. There were developed elements of a technology of using coal-water fuel in agricultural production of Siberia. There was grounded possible amount of the effective use of this fuel, and its limit price in Western Siberia.

Keywords: power supply, coal-water fuel, burning mode parameters, efficiency, agriculture.
