

ПЕРЕВОД КОТЛОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ НА ВОДОУГОЛЬНУЮ ТЕХНОЛОГИЮ

В.В. Саломатов¹, У.В. Дорохова², С.В. Сыродой²

Проведено обоснование технических и технологических решений реконструкции паровых котлов малой мощности с переводом их на сжигание водоугольного топлива согласно патента ИТ СО РАН № 2009113840/06 от 13.04.2009 г. Осуществлен выбор методики расчетов и проектирования камеры горения, камеры охлаждения и других поверхностей нагрева котла. Составлен тепловой баланс реконструированного котла на водоугольное топливо из бурого угля Шивз-Овооского месторождения Монголии. Проведена технико-экономическая оценка такой реконструкции и представлены экологические характеристики котла на водоугольное топливо.

Ключевые слова: водоугольное топливо, сжигание, экология, реконструкция.

Введение

Энергетическая стратегия России до 2030 г включает, прежде всего, угольную и ядерную генерации. Выбранная уже сегодня тенденция к росту объемов производства угля будет развиваться и далее. В ближайшее время угольное топливо станет основным энергоносителем. Однако экологические проблемы, возникающие при использовании угольного топлива, требуют разработки и внедрения новых эффективных с экономической точки зрения угольных технологий, которые обеспечат существенный экологический эффект с максимально высокой полнотой использования добытого топлива.

В связи с этим становится актуальным использование угля в виде водоугольных суспензий. Водоугольные суспензии – это смеси измельченного угля с водой. Образованная искусственная дисперсная система, представляющая новый вид топлива, носит название – водоугольное топливо (ВУТ).

Преимущества водоугольных суспензий, как экологически чистого топлива, состоят в следующем:

- снижение токсичности во всех технологических операциях (приготовление, транспортирование, хранение и использование);
- взрыво- и пожаробезопасность во всех технологических операциях (приготовление, транспортирование, хранение и использование);
- отсутствие опасности загрязнения почвы и водоемов;
- отсутствие пыли и загрязнений при хранении и транспортировании;
- снижение вредных выбросов в атмосферу при сжигании.

Кроме того, водоугольные суспензии обеспечивают:

- сохранение технологических свойств при хранении и транспортировании;
- использование ограниченных площадей, в том числе подземных, при хранении;
- возможность транспортирования трубопроводным, речным, морским, авто- или железнодорожным транспортом;
- технологичность при использовании за счёт уменьшения погрузочно-разгрузочных операций и сокращения числа механизмов и сооружений;
- возможность полной механизации и автоматизации процессов приготовления, транспортирования и использования.

Широкое внедрение водоугольного топлива (ВУТ) может служить основой эффективной замены дорогостоящих дефицитных экологически чистых природных энергоносителей (природного газа и нефти) на многих ТЭС с минимальными капитальными затратами и с сохранением на требуемом уровне вредных выбросов в атмосферу. Перспективы дальнейшего развития использования водоугольного топлива весьма обширны [1, 2].

К сожалению, использование водоугольного топлива пока не нашло широкого признания в нашей стране. Успех внедрения ВУТ зависит не только от знаний технологий приготовления и сжигания ВУТ, но также и от решения вопросов ценообразования, бизнес-схемы взаимодействия, инвестиций и т.д. На сегодняшний день мировым лидером в области разработки и внедрения водоугольного топлива в тепло- и электроэнергетике является Китай. Значительный практический и научный вклад по внедрению водоугольных

технологий вносят японские исследователи. Также, к развитым странам в области применения такой технологии, можно отнести Италию, Швецию, Канаду, США и Украину.

1 Теплотехнические свойства угля Шивэ–Овооского месторождения как энергетического топлива

Шивэ–Овооское угольное месторождение – одно из крупных бурого углей месторождений Монголии. Это геологически сравнительно молодое месторождение, средняя толщина угольного пласта которого составляет 50,4 м, геологические запасы – 2,7 млрд. т, из них утвержденных производственных запасов – 564,1 млн т. Вовлечение малоисследованных углей ШОМ в энергетическое использование зависит от многих факторов, среди которых определяющее значение имеет исследование теплотехнические свойства угля.

Исследования проводились на базе топливно–аналитической лаборатории кафедры ПГС и ПГУ Томского политехнического университета, с целью изучения возможностей энергетического использования Шивэ–Овооского бурого угля с учетом его минеральной части. Результаты этапа исследований, необходимых для теплотехнических расчетов, сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Теплотехнические характеристики ШОУ

Наименование характеристики (состояние, масса)	Обозначение	Индекс пробы			
		C	I	II	III
Влажность, % (масса рабочая)	W^r	40,5	39,3	30,5	31,2
Зольность, % (масса рабочая)	A^r	6,9	8,7	11,5	8,3
Выход летучих, % (масса горючая)	V^{daf}	41,3	42,2	42,7	40,3
Низшая теплота сгорания (масса рабочая) МДж/кг (Ккал/кг)	Q_i^r	13,51 (3225)	14,56 (3474)	15,46 (3690)	15,95 (3807)
Элементный состав (на рабочую массу), %					
углерод	C^r	30,9	39,0	39,8	41,5
водород	H^r	2,0	2,3	2,4	2,5
азот	N^r	0,2	0,2	0,2	0,3
сера	S^r	0,2	0,2	0,2	0,2
кислород	O^r	19,3	10,3	15,4	16,0

Совокупность результатов исследований свидетельствует о том, что уголь ШОМ относится к бурым углям повышенной влажности (группа 1Б и 2Б) и умеренной зольности. Благоприятными для энергетического использования являются показатели по содержанию серы и азота в топливе. В целом, по теплотехническим характеристикам исследуемое топливо близко к бурым углям месторождений Российской Федерации, расположенным в Забайкалье и на Дальнем Востоке [3, 4].

2 Характеристика водоугольного топлива (технология приготовления, свойства, требования к схеме сжигания)

Водоугольное топливо (ВУТ) представляет собой смесь (суспензию) из мелкоизмельченного (преимущественная твердая фракция в ВУТ порядка 40 мкм, размер частиц не должен превышать 200 мкм.) угля и воды. Так как эта смесь довольно быстро расслаивается с осаждением угольных частиц, в неё обычно добавляют пластификатор, массовая доля которого в топливе составляет около 1%. В ряде случаев в состав суспензии могут быть включены различные добавки (ПАВ, стабилизаторы и т.д.), изменяющие стабильность, вязкость или иные свойства ВУТ. ВУТ может использоваться в качестве замены мазута, газа и угля. При сжигании ВУТ происходит газификация содержащегося в нем угля с образованием синтез-газа, который вступает в реакцию с продуктами разложения воды (водород и кислород) при температурах свыше 900 градусов. Благодаря этому достигается почти полное сгорание топлива (до 98%). Предпочтительно использование молодых сортов углей с высоким содержанием летучих, таких классов как Г, СС,Д а также, в некоторых случаях, и бурых углей [5, 6].

Приготовление ВУТ состоит из трёх основных этапов (стадий):

1. Предварительное дробление.
2. Мокрый помол.
3. Гомогенизация.

Принципиальная схема приготовления водоугольного топлива представлена на рисунке 1.

Первая стадия (предварительное дробление) необходима для получения угольной крошки с фракцией 10-12 мм. Дробление осуществляется на стандартных дробилках (шаровых мельницах, молотковых и т.д.). Выбор дробилок осуществляется в зависимости от типа угля, его характеристик: влажность, зольность, твердость. Только если в качестве сырья для приготовления ВУТ используется

угольный шлам, то данная стадия исключается из общей линии приготовления ВУТ.

Помол до финальной фракции (обычно 40–60 мкм) осуществляется уже в присутствии воды в оборудовании мокрого помола (вторая стадия). Данный этап является ключевым в приготовлении ВУТ, поскольку определяет дальнейшие характеристики ВУТ (грансостав, вязкость, стабильность и т.д.). Специальным оборудованием мокрого помола до сегодняшнего дня были специально спроектированные вибромельницы различных модификаций, где помол угля осуществляется мелющими телами (шарами, стержнями) в присутствии воды.

В ряде случаев в состав ВУТ могут быть включены различные добавки, необходимые для увеличения статической стабильности ВУТ, снижения вязкости или др. Для придания ВУТ гомогенных свойств, необходима третья стадия – гомогенизация (ввод пластификаторов, стабилизаторов и т.п.).

ВУТ, приготовленное с соблюдением гранулометрического состава, массовой доли угля и четко подобранным реагентом-пластификатором не расслаивается в течение длительного времени.

Важно отметить, что горение частиц угля осуществляется до испарения воды, входящей в состав ВУТ. При температуре около 1000 градусов, при которой происходит горение ВУТ, вода неизбежно разлагается на ионы H^+ и OH^- . В результате, разложившаяся вода выступает в роли окислителя в реакции горения ВУТ. Кроме того, активация частиц угля паром приводит к интенсификации горения и снижению температуры воспламенения угля, входящего в состав ВУТ [5, 6].

Использование угля в виде водоугольного топлива для технологических и энергетических целей позволяет существенным образом улучшить теплотехнические и экологические показатели процесса термической переработки.

3 Подготовка и распыл ВУТ

Вопрос приготовления, транспортировки и сжигания ВУТ является одним из главных вопросов на стадии разработки водоугольной технологии. Анализируя технический проект опытно-промышленного углепровода «Белово – Новосибирск», необходимо отметить, что решение и применение той или иной технологии необходимо принимать после технико-экономического обоснования для каждого конкретного случая. Технологическая схема

этих процессов представлена на рисунке 2.

В соответствии с этой схемой для приготовления ВУТ используется двухстадийная схема помола угля (базовый технологический процесс). Согласно этой технологии тонкое (до кл. 0–25 мкм) мокрое измельчение 30–35% угля осуществляется в присутствии реагента-пластификатора (ТУ–6–14–19–647–85 или его аналог суперпластификатор C_3) в шаровой мельнице, а окончательное измельчение основной массы угля вместе с суспензией в стержневой. Наряду с двухстадийным помолом угля может применяться мокрое измельчение в вибрационной мельнице. Для исследования стабильности готового ВУТ при хранении в аккумулирующем бункере устанавливают пробоотборные устройства на различных уровнях. Если полученные параметры удовлетворяют показателям качества ВУТ, то суспензию с помощью бустерных центробежных насосов направляют на головную насосную станцию. В противном случае суспензию возвращают на переработку в мельницы для получения суспензии микропомола.

Водоугольное топливо магистральными насосами перекачивают по трубопроводу (диаметром не менее 500 мм) на место потребления (на станцию или котельную). В котельной суспензия поступает в аккумулирующие емкости, оборудованные устройствами перемешивания. Из них полученное водоугольное топливо насосами подают на прямое сжигание в котлоагрегат.

Характерные особенности ВУТ, а именно наличие большого количества инертной жидкой фазы и минеральных компонентов в частицах крупностью от 0 до 450 мкм, а также сравнительно низкая теплота сгорания (порядка 2500 ккал/кг), требуют соответствующих условий для надежного воспламенения и устойчивого эффективного горения водоугольного топлива в топках котлов. В связи с этим, важное место для сжигания водоугольного топлива занимает устройство для распыливания топлива – форсунка. Для распыливания водоугольного топлива используют, как правило, пневматические форсунки, в силу их относительной конструктивной и эксплуатационной простоты [7–9]. Тем не менее, форсунки должны удовлетворять ряду требований: обеспечивать надлежащий распыл топлива, создавать заданную форму капельного факела, иметь определенный диапазон возможного варьирования расхода топлива и т.д.

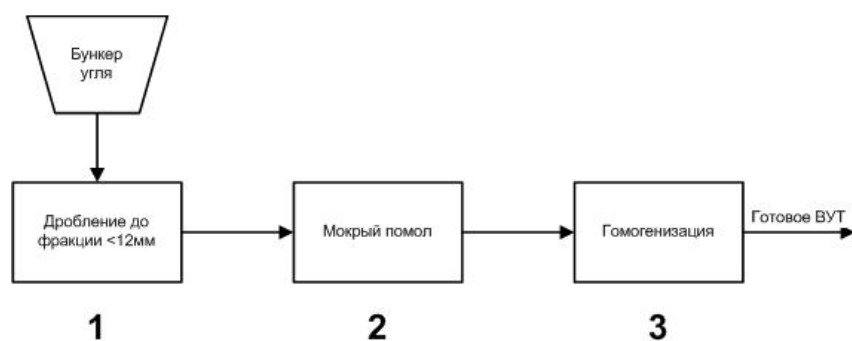


Рисунок 1 –
Схема приготовления ВУТ

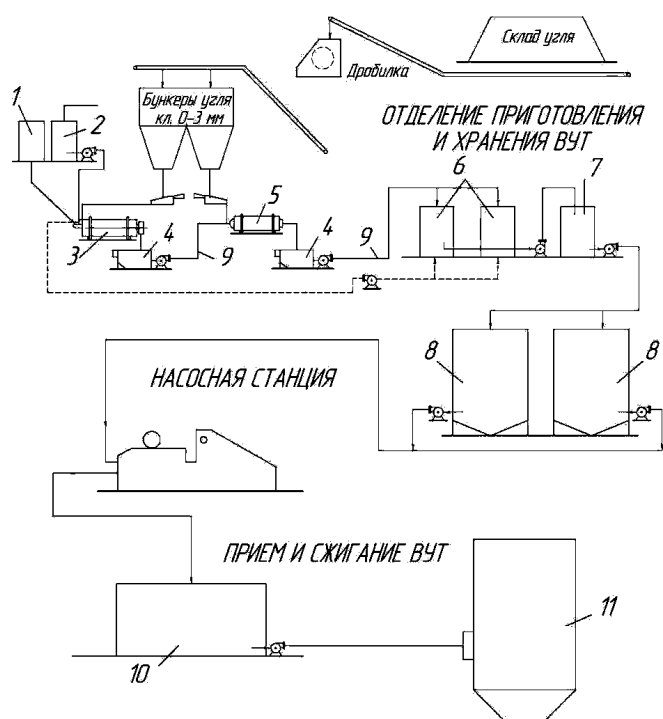


Рисунок 2 –
Технологическая схема под-
готовки и сжигания ВУТ:
1 – резервуар технической
воды;
2 – резервуар раствора реа-
гента;
3 – мельница шаровая;
4 – зумпфы ВУТ;
5 – мельница стержневая;
6 – резервуары ВУТ кон-
трольные;
7 – резервуар ВУТ расход-
ный;
8 – резервуар-хранилище
ВУТ;
9 – пробоотборники;
10 – приемная ёмкость;
11 – котлоагрегат

4 Обоснование конструктивных изменений котла для работы на водоугольном топливе

Водоугольное топливо является топливом нового поколения, искусственным видом композиционного топлива из угля и воды с участием пластификаторов [6]. Процесс горения водоугольного топлива характеризуется высокой полнотой сжигания топлива, снижением механической неполноты сгорания и отсутствием химической неполноты сгорания топлива, что значительно повышает его эффективность. Вместе с тем, закономерности горения ВУТ существенно отличаются от традиционных видов топлива. Поэтому для его сжигания требуется сооружение специального топочного устройства, с целью повышения эффективности сжигания ВУТ и увеличения надежности работы топки.

Вопросами реконструкции котлов малой теплотенергетики успешно занимается кол-

лектив сотрудников под руководством директора ИТ СО РАН чл.-корр. РАН Алексеенко С.В. ООО «Теплопром» (Кравченко И.В., Кравченко А.В., Самборский В.Е. и др.) и ИТ СО РАН (Мальцев Л.И., Саломатов В.В. и др.)

Для достижения поставленной цели предлагается реконструкция топки котла КЕ–10–14С с помощью установки в нее специального устройства – теплоизолированного муфеля [7]. Схематично муфель изображен на рисунке 3.

Топочная камера котла теперь представляет собой футерованную камеру сгорания и экранированную кипятыльными трубами камеру охлаждения, сообщаемые между собой посредством перепускных окон. В качестве камеры охлаждения выступают экраны котла КЕ–10–14С. Камера сгорания размещена внутри камеры охлаждения, причем так, что они имеют общую фронтальную стенку, на которой смонтированы фор-

сунки, осуществляющие как раздельную, так и совместную подачу ВУТ и первичного окислителя, и общую нижнюю стенку, на которой

установлен золоуловитель, выполненный в форме воронки.

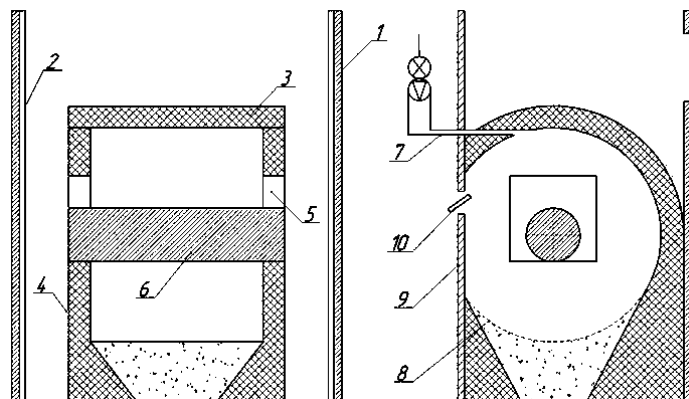


Рисунок 3 –

Топочная камера котла после реконструкции:

- 1 – камера охлаждения;
- 2 – экранные трубы;
- 3 – муфель (камера сгорания);
- 4 – торцевые стенки муфеля;
- 5 – газоперепускные окна;
- 6 – центральная вставка;
- 7 – сопло вторичного дутья;
- 8 – золоуловитель;
- 9 – фронтальная стенка котла;
- 10 – форсунка ВУТ

В связи с повышенным влагосодержанием в ВУТ, процессы воспламенения частиц угля затягиваются во времени, поэтому только организация вихревого режима течения внутри камеры сгорания позволяет решить поставленные задачи. Предлагаемая реконструкция обеспечит максимальную продолжительность по времени нахождения капель топлива в ядре горения, что гарантирует полноту выгорания ВУТ, а, следовательно, экономичность топочного устройства.

5 Тепловой расчет котла КЕ–10–14С в исходном и модернизированном вариантах

Целью поверочного теплового расчета является определение температур и тепло-восприятий рабочего тела по заданной конструкции котла для заданной нагрузки и вида используемого топлива. Сжигаемое топливо: бурый уголь Шивэ–Овооского месторождения Монголии. Водугольная суспензия имеет состав: 79% твердой фазы, 20% воды и 1% ПАВ.

Основные характеристики парового котла КЕ-10-14С приведены в таблице 2.

Расчетные характеристики исходного угля на основании работ [3] представлены в таблице 3 [3].

Результаты теплового расчета котла КЕ-10-14С до реконструкции и после сведены в таблице 4.

Таблица 2 - Характеристики котла КЕ-10-14С

Характеристика	Значение
Номинальная паропроизводительность D_n , т/ч	10
Давление пара на выходе из пароперегревателя $P_{пп}$, МПа	1,3
Температура перегретого пара $t_{пп}$, °С	194
Температура питательной воды $t_{пв}$, °С	100

Таблица 3 – Расчетные характеристики ШОУ

Характеристика, %	Значение
Влажность, W	35,375
Зольность, A^r	8,85
Сера, $S^r_{(c+p)}$	0,2
Углерод, C	37,8
Водород, H	2,3
Азот, N	0,225
Кислород, O^r	15,25
Выход летучих, $V^{лат}$	41,625

Таблица 4 - Результаты тепловых расчетов котла

Наименование рассчитанной величины		Значение	
		До	После
Низшая теплота сгорания топлива $Q_{i,}^r$, МДж/кг		14,87	9,51
Температура уходящих газов ϑ_{yx} , °С		140	
Коэффициент избытка воздуха в топке	α'_T	1,3	1,2
Объем водяных паров в дымовых газах при сгорании топлива, м ³ /кг	$V_{H_2O}^H$	0,7726	1,012
Объем дымовых газов, м ³ /кг	V_{Γ}^H	5,65	5,365
Потери тепла с уходящими газами q_2 , %		6,44	10,68
Потери тепла от химической неполноты сгорания q_3 , %		0,1	0,46
Потери тепла с химическим недожогом q_4 , %		5,5	4,7
Потери тепла от наружного охлаждения q_5 , %		1,7	1,1
Потери тепла с физическим теплом шлака q_6 , %		0,51	0,37
КПД котла η , %		85,75	82,69
Расчетный расход топлива B_p , кг/ч		1785,6	3074
Хвостовая поверхность		ВП	ЭК

6 Сравнительный анализ технико-экономических и экологических показателей при переводе котлов на сжигание водоугольного топлива

Выбросы загрязняющих веществ предприятий теплоэнергетики, обусловленные процессами сгорания органического топлива, являются одним из основных источников загрязнения атмосферы. Объемы вредных пылегазовоздушных выбросов связаны с качеством и количеством сжигаемого топлива, полнотой его использования, а также с эффективностью в целом работы источника теплоснабжения. В связи с этим, применение водоугольного топлива, как экологически чистого, привлекает к себе внимание потребителей как способ решения ряда проблем транспортного, экологического и экономического характера.

Преимуществом применения водоугольных технологий в этом вопросе является возможность применения гидротранспорта, который исключает потери угля при перевозке и не оказывает прямого воздействия на окружающую среду. Также вовлечение в топливный баланс углей мелких классов и транспортирование их в виде непрерывного потока по трубопроводам не требует проведения погрузо-разгрузочных работ.

Гидротранспортная система при нормальном режиме эксплуатации обеспечивает равномерную поставку топлива в суточном и годовом исчислении независимо от погодных условий и времени года. Повышается безопасность процесса транспортирования в связи с отсутствием пересечений грузопотоков топлива, людских и других ресурсов, приводящих к авариям. [1].

Также при сжигании водоугольного топлива обеспечивается понижение уровня выбросов вредных веществ с продуктами его сгорания без сооружения капиталоемких специальных установок по очистке продуктов сгорания от оксидов серы и азота, монооксида углерода, сажи и канцерогенных веществ.

Особенности горения капли водоугольного топлива, активная роль водяного пара как промежуточного окислителя и снижение температурного уровня процесса горения в результате испарения влаги из топлива, а также создание вокруг горящей капли восстановительной зоны приводит к уменьшению образования оксидов азота в 1,5–2 раза.

Также сжигание угля в виде водоугольного топлива позволяет практически предотвратить химическую неполноту сгорания с

образованием летучей золы, на 7–60 % уменьшить образование диоксидов серы. Кроме того, более полное сгорание топлива (эффективность сгорания 97–99 %) позволяет минимизировать количество отходов (золы). Сопоставление количества вредных веществ, образующихся при сжигании различных видов топлива дано в таблице 5 [1].

Таблица 5 - Сравнительная оценка вредных веществ, образующихся при сжигании различных видов топлива

Вредное вещество	Количество вредных веществ, г/м ³			
	угля	мазута	газа	ВУТ
NO ₂	250 – 600	150 – 750	200 – 700	30 – 100
SO ₂	400 – 800	400 – 700	–	100 – 200
Пыль, сажа	100 – 300	2 – 5	0,5	1–5

Ответить на вопрос насколько эффективно использование ВУТ с экономической точки зрения, можно только на основе технико-экономического анализа конкретной ситуации. При этом необходимо учитывать следующие обстоятельства:

- какой вид топлива заменяют на водоугольное топливо;
- какие компоненты могут быть использованы для составления топливной композиции;
- находится ли установка по производству топлива у потребителя или топливо производится централизованно.

Кроме этих вопросов, есть ещё и другие, не столь значимые.

Эффективность обогащения энергетических углей следует рассматривать как некую разницу между получаемым потребителем экономическим эффектом от сжигания высококачественных обогащенных углей и затратами на достижение такого качества. Для этого необходимо проводить технико-экономические расчеты, в исходные данные для которых должны быть включены многие показатели (теплота сгорания углей, их зольность, баланс продуктов обогащения, транспортные расходы, затраты, связанные с обогащением и сжиганием, степень изменения КПД, необходимые капитальные затраты и др.).

Чем большим становится КПД энергетической установки в зависимости от увеличения зольности сжигаемых углей, тем выше будет экономическая эффективность использования обогащенных углей. Эффективность

обогащения энергетических углей с экономической точки зрения напрямую связана с разницей между издержками на осуществление этого процесса и экономией при производстве энергии.

Также следует отметить, что чем выше исходная зольность рядовых углей и чем больше расстояние доставки угля до потребителя, тем эффективнее при прочих равных условиях будет обогащение энергетических углей. Расчеты показывают, что его, как правило, целесообразно проводить при зольности исходного рядового угля, превышающей 20 %, и расстоянии перевозки топлива до потребителя более 1500 км.

Удаление из угля на месте добычи минеральных примесей приводит к уменьшению удельного расхода натурального топлива и, следовательно, к снижению затрат на доставку. Кроме того, при этом будет получена экономия капитальных вложений в котельные установки, так как увеличивается их производительность, сокращаются эксплуатационные затраты, затраты на ремонт оборудования, а также расходы, связанные с экологическими аспектами (снижение вредных выбросов в атмосферу и уменьшение количества твердых отходов). Удельный расход топлива на производство единицы товарной тепло- и электроэнергии является основным показателем

при расчете экономической эффективности использования данного вида топлива на этих объектах. Повышение тепловой способности топлива на угольно-углеводородной основе (например, ВУТ) в результате уменьшения зольности угля, входящего в его состав, влечет за собой уменьшение потребления угля при условии неизменной мощности ТЭС и вырабатываемой ею электроэнергии. Вследствие этого:

- уменьшаются объемы перевозимого топлива и соответственно транспортные расходы;
- снижаются энергозатраты на собственные нужды ТЭС, которые связаны в основном с системами сжигания (топливоподача) угля и обработки отходов;
- сокращаются площади шлакозолоотвалов и требуемые на это расходы;
- уменьшается расход тепла, выносимого золой и шлаком, что так же, как и повышение теплотворной способности, приводит к снижению удельного расхода топлива;
- уменьшаются отложения на стенках котла, что приводит соответственно к сокращению затрат на их очистку и повышению КПД котла;
- при снижении удельного расхода топлива значительно уменьшаются удельные выбросы вредных веществ и соответственно затраты на охрану окружающей среды, в том числе расходы ТЭС на очистку дымовых газов.

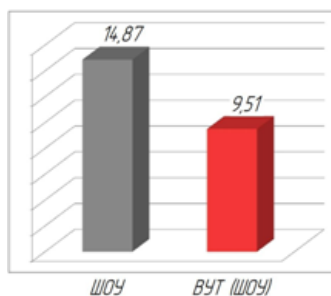


Рисунок 4а - Низшая теплота сгорания, МДж/кг

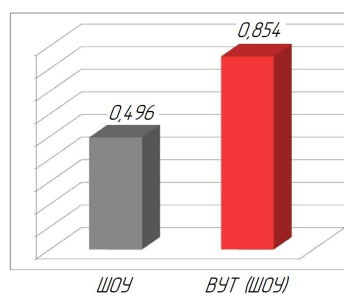


Рисунок 4б - Расход топлива, кг/с

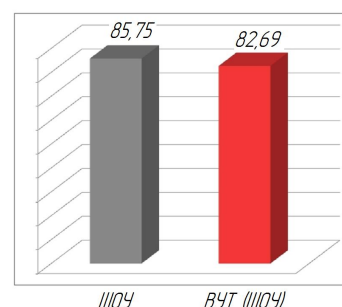


Рисунок 4в - КПД котла, %

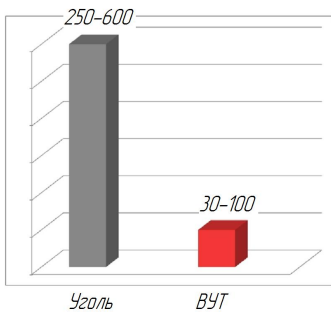


Рисунок 4г - Оксид азота NO , мг/м³

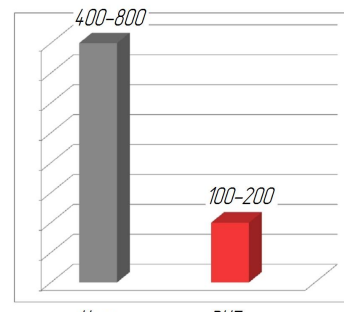


Рисунок 4д - Оксид серы SO_2 , мг/м³

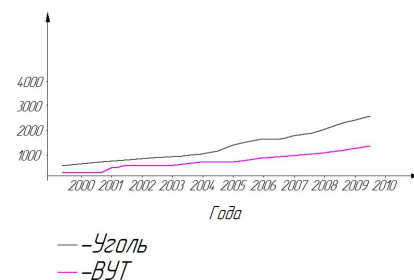


Рисунок 4е - Стоимость топлива, руб.

Технико-экономические анализы проводятся по элементам затрат в соответствии с этапами технологической цепи. Для твердого топлива она имеет вид: добыча угля → обогащение угля → транспортирование топлива до места требования → сжигание (с частичным учетом затрат на экологические нужды). Для работы на водоугольном топливе появляется ещё одна затратная компонента на приготовление водоугольной суспензии: добыча угля → обогащение угля → приготовление ВУТ (измельчение, перемешивание, добавление реагентов-стабилизаторов) → транспортирование топлива до заказчика → сжигание (с частичным учетом затрат на экологические нужды).

Анализ затрат на транспортировку показывает, что применение трубопроводного транспорта может минимизировать эти расходы более чем в 2 раза. Водоугольное топливо по своим потребительским свойствам, а именно экологичности (количеству золошлаковых отходов, вредных выбросов в атмосферу), уменьшению затрат на собственные нужды, более технологично и целесообразно к применению, чем топливо пылеугольного сжигания. Использование ВУТ напрямую зависит от способа доставки к

потребителю. Доставка ВУТ на большие расстояния предпочтительна только трубопроводным транспортом. Очевидно, что технологию получения и применения ВУТ стоит рассматривать только совместно с разработкой его транспортирования по трубопроводу, как более совершенным и дешевым видом транспорта для нового вида топлива [1].

При проведении ТЭО учитывают все возможные факторы, способные оказывать влияние на реализацию проекта и его дальнейшую эксплуатацию. На этапе технико-экономического обоснования инвестиций сопоставляются альтернативные варианты и предлагаемые к внедрению энергоэффективные технологии, приносящие наибольший экономический эффект.

Реконструируемое энергетическое оборудование приводит, как правило, к изменению затрат и в сфере его производства, и в сфере эксплуатации. Результаты технико-экономического и экологического обоснования реконструкции котла КЕ на сжигание ВУТ представлены на рисунках 4а-4е.

Анализ полученных результатов подтверждает целесообразность и рентабельность реконструкции котла КЕ-10-14С на сжигание ВУТ.

Данные тепловых расчетов показали, что при переводе котла на ВУТ идет некоторое ухудшение показателей. Так КПД снизился незначительно с 85,75 до 82,69 % (рис.4в), и расход топлива увеличился с 1,78 до 3,07 тонн в час (рис.4б). Это объясняется высоким влажностью и, как следствие, низкой теплотворной способностью топлива (рис.4а).

Однако, при одновременном ухудшении вышеуказанных показателей, происходит улучшение других важных эколого-экономических характеристик котельных агрегатов, работающих на ВУТ. Например, при переводе на ВУТ:

- реконструированный котел выгоден экономически, т.к. снижается себестоимость отпускаемой продукции и, следовательно, ее конечная цена;
- уменьшаются годовые затраты на топливо, а также на его транспортировку, используя возможности гидротранспортного способа доставки, рис.4е;
- снижается выброс токсичных NO_x и SO_x (при сжигании твердого топлива количество выбросов NO_x и SO_x составляет 250-600 г/м³ и 400-800 г/м³ соответственно, а при сжигании ВУТ 30-100 г/м³ и 100-200 г/м³) (рисунки 4г и 4д).

Заключение

В настоящее время технологии производства и использования ВУТ разработаны до уровня широкого внедрения в различных отраслях промышленности. Выполнены полномасштабные промышленные испытания применения ВУТ в котлах малой и средней мощности, которые полностью подтверждают техническую возможность, экономическую и экологическую целесообразность замены малоэффективного слоевого сжигания угля, а также дорогих дефицитных жидких, газообразных видов топлив на новый вид угольного топлива. Однако широкого тиражирования эта технология в России по разным причинам пока не получила.

Анализ полученных результатов подтверждает целесообразность и рентабельность реконструкции котла КЕ-10-14С на сжигание ВУТ.

Данные тепловых расчетов показали, что при переводе котла на ВУТ идет некоторое ухудшение показателей. Так КПД снизился незначительно с 85,75 до 82,69 %, а расход увеличился с 1,78 до 3,07 тонн водоугольного топлива в час. Это объясняется

высоким влагосодержанием и, как следствие, низкой теплотворной способностью топлива.

Однако, одновременно улучшаются такие показатели как:

- годовые затраты на топливо (при сжигании бурого угля ШОУ $I_{\text{гор}}=26,3$ млн. руб., при сжигании ВУТ (ШОУ) $I'_{\text{гор}}=22,9$ млн. руб.), а также на его транспортировку, используя возможности гидротранспортного способа доставки;
- реконструированный котел выгоден экономически, т.к. снижается себестоимость отпускаемой продукции и, следовательно, ее конечная цена;
- снижается выброс токсичных NO_x и SO_x (при сжигании твердого топлива количество выбросов NO_x и SO_x составляет 250-600 г/м³ и 400-800 г/м³ соответственно, а при сжигании ВУТ 30-100 г/м³ и 100-200 г/м³)

Применение ВУТ в малых котлах позволяет значительно сократить вредные выбросы в окружающую среду в процессе производства, при транспортировании и хранении, а также при его сжигании. Существенный экологический эффект достигается прежде всего при утилизации угольных шламов, образующихся на углеобогажительных фабриках. Экономическая целесообразность применения ВУТ обеспечивается минимальными затратами при его производстве и использовании.

Таким образом, предлагаемые подходы и технологические решения по малозатратной реконструкции котлов малой мощности на водоугольную технологию позволят повысить их экономические и экологические показатели, вовлечь в энергетическое использование низкокачественные топлива и горючие отходы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Зайденоварг В.Е., Трубецкой К.Н., Мурко В.И., Нехороший И.Х. Производство и использование водоугольного топлива.- М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. – 176с.: ISBN 5-7892-0091-5.

2 Мурко В.И., Дурнин М.К. Водоугольное топливо – одно из перспективных направлений по утилизации шламов обогатительных фабрик [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ineca.ru/?dr=bulletin/arhiv/0068&pg=006>

3 Энхжаргал Х., Батмунх С., Заворин А.С., Саломатов В.В., Долгих А.Ю. Некоторые результаты исследования угля Шивэ-Овооского месторождения Монголии с целью его энергетического использования // Энергосистемы, электростанции и их агрегаты: Сб. науч. тр. (под ред. акад. Накорякова В.Е.). – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. Вып. 14. – С. 125–132.

4. Красинский Д.В., Саломатов В.В., Энхжаргал Х. Предпроектное обоснование параметров КЭС мощностью 4800 МВт на угле Шивэ-Овооского месторождения Монголии // Ползуновский вестник.- 2012.- № 3/1.- С. 22-30.

5. Водоугольное топливо [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.wikipedia.org>.

6 Трубецкой К.Н. Проблемы внедрения водоугольного топлива в России // «Промышленные ведомости» – 2004г. – №11–12.

7 Патент РФ № 2009113840/06 Устройство для сжигания водоугольного топлива / С.В. Алексенко, И.В. Кравченко, А.И. Кравченко, Л.И. Мальцев, В.Е. Самборский, В.В. Саломатов. Заявлено Опубликовано 27.10.2009.

8 Мальцев Л.И., Кравченко И.В., Кравченко А.И., Самборский В.Е. Пневматическая форсунка для распыливания ВУТ // Сб. докл. VII Всероссийской конф. с межд. участием «Горение твердого топлива». Новосибирск, Россия, 10–13 ноября. – 2009. – Ч. 2. – С. 83–88.

9 Патент РФ № 2346756. Пневматическая форсунка. Мальцев Л.И. Опубликовано: 20.02.2009.

Работа выполнена при поддержке
Российского фонда
исследований № 110800364.

Саломатов В.В.¹, д.т.н., проф.,
главный научный сотрудник,
e-mail: yvs@itp.nscl.ru

Дорохова У.В.², аспирант,
Сыродой С.В.², аспирант.

¹Институт теплофизики им. С.С.Кутателадзе
СО РАН, г. Новосибирск

²Томский национальный исследовательский
политехнический университет, г. Томск.