

КОМПЛЕКСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СНИЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЕПЛОВЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

4.3. Сжигание твердых топлив

4.3.3. Комплексные решения по обеспечению потребительских свойств золошлаков и улучшению эколого-экономических показателей работы тепловых электростанций России при сжигании каменных углей непостоянного качества

Путилов В.Я., Архипов А.М., Путилова И.В. — Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, Москва

АННОТАЦИЯ

Рассмотрено влияние технологий факельного сжигания углей в энергетических котлах на потери при прокаливании летучей золы (п.п.п.) и выбросы NO_x . В докладе рассмотрены вопросы сжигания кузнечных углей основных марок в котлах различных типов с паропроизводительностью от 50 до 950 т/час. При работе этих ТЭС России на проектных кузнечных углях п.п.п. летучей золы могут достигать 25 %, что превышает нормативы по использованию золы в 5 раз, несмотря на то, что нормативы по мехнедожогу в большинстве случаев соблюдаются. При этом удельные выбросы оксидов азота без реализации дорогостоящих мероприятий по азотоочистке дымовых газов составляют до 1600 мг/м^3 , что также выше нормативов несколько раз. Приведены основные технические решения и рекомендации по организации эффективного факельного ступенчатого сжигания кузнечных углей непостоянного качества для максимального снижения п.п.п. в летучих золах и шлаках и достижения удельных выбросов оксидов азота ниже нормативных без строительства дорогостоящих установок по азотоочистке дымовых газов.

1. ВВЕДЕНИЕ

В энергетических котлах тепловых электростанций (ТЭС) России сжигаются угли более 100 марок, но основными являются угли следующих бассейнов: Кузнечского, Канско-Ачинского и Экибастузского. Березовский и Ирша-бородинский угли относятся к канско-ачинским углям. В европейских странах предъявляются жесткие требования к качеству поставляемых углей, поэтому один и тот же уголь обладает достаточно постоянным химическим составом. Однако в России характеристики поставляемых углей одной и той же марки могут значительно отличаться в зависимости от шахты (карьера) угольного месторождения и глубины залегания угольных

пластов. Заводы по обогащению углей работают только для поставок углей на коксовые заводы России или обеспечения экспортных контрактов, но не с целью поставок углей на ТЭС России. Поэтому энергетики России вынуждены сжигать угли переменного качества. Имеют место случаи сжигания отходов углеобогатительных фабрик (промпродукт). В связи с этим потребительские свойства золошлаков (в первую очередь это - п.п.п. и химико-минералогический состав) также являются непостоянными, что отрицательно сказывается на уровне их полезного применения в различных отраслях экономики.

Проблема повышения эколого-экономической эффективности работы пылеугольных котлов ТЭС России является все более актуальной из-за сжигания не только углей проектного и ухудшенного качества, но также и углей непроектных марок, в том числе промпродукта и шлама. Положение обостряется из-за тенденции ужесточения природоохранного законодательства и необходимости ввода новых пылеугольных энергетических котлов. При этом перед энергетиками России стоит задача достижения комплексной эффективности при сжигании углей с малым выходом летучих и повышенным содержанием топливного азота.

2. ПРИМЕНЕНИЕ КОТЛОВ С ТВЕРДЫМ И ЖИДКИМ ШЛАКОУДАЛЕНИЕМ

Для сжигания углей на ТЭС России используются энергетические котлы с твердым шлакоудалением (ТШУ) и жидким шлакоудалением (ЖШУ) [1]. Котлы с циркулирующим кипящим слоем на ТЭС России в настоящее время не применяются. На рис. 1 и 2 представлены схемы топков с ТШУ и ЖШУ [2].

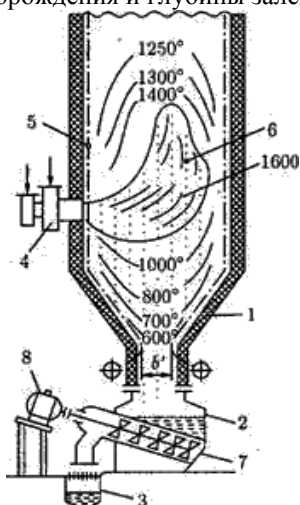


Рис. 1. Топка с твердым шлакоудалением: 1 - холодная воронка; 2 - шлаковая ванна с водой; 3 - канал гидрозолоудаления; 4 - горелка; 5 - настенные экраны; 6 - ядро факела; 7 - шнек шлакоудаляющий

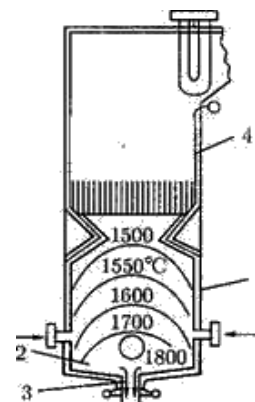


Рис. 2. Топка с жидким шлакоудалением: 1 - камера сгорания; 2 - под топкой; 3 - шлаковая легка; 4 - камера охлаждения

В котлах с ТШУ максимальная температура в ядре горения составляет до 1600°C. При этом оксиды азота образуются, в основном, из азотсодержащих компонентов органической массы топлива. В котлах с ЖШУ максимальная температура в топке может достигать 1800 °С. В таких топках при сжигании, например, кузнецких тощих углей проектного качества обычно обеспечивается нормативный уровень мехнедожога, но п.п.п. могут превышать 5 %. Однако за счет значительного вклада в суммарный выход NO_x не только топливных, но и термических оксидов азота удельные выбросы NO_x достигают 1500...1600 мг/м³, что в 2,5...3 раза превышает концентрацию NO_x, при сжигании углей в котлах с ТШУ. Следует отметить, что сжигание углей ухудшенного качества, промпродукта и шлама сопровождается снижением надежности работы котлов с ЖШУ.

Следовательно, применение котлов с ТШУ является предпочтительнее, чем с ЖШУ с точки зрения эвакуации шлака из топки котла, надежности и экологичности работы котла. Кроме того, важным эколого-экономическим преимуществом котлов с ТШУ является возможность снижения выбросов оксидов азота в 2,5...3 раза без реализации дорогостоящих мероприятий и с сохранением товарной ценности шлака и золы.

На пылеугольных котлах с ЖШУ топочными методами достичь нормативных величин содержания оксидов азота в уходящих газах при сохранении эффективности сжигания весьма сложно, а очистка дымовых газов от оксидов азота является очень дорогостоящим мероприятием с точки зрения как инвестиционных, так и эксплуатационных затрат. К тому же, при этом в связи с насыщением летучей золы продуктами, содержащими, например, аммиак, в значительной степени снижается ее товарная ценность [3].

По данным докладов, сделанных на II Международном научно-практическом семинаре «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», технологии кипящего слоя имеют существенный недостаток: товарная ценность золы снижается из-за насыщения ее сернистыми компонентами [4].

В ближайшем будущем в России произойдет ужесточение экологических требований к ТЭС в части установления более низких нормативных уровней удельных выбросов оксидов азота и повышения требований к уровню полезного применения золошлаков. В этих условиях переход на сжигание углей в энергетических котлах с твердым шлакоудалением представляется наиболее оптимальным как с экологической, так и с экономической точки зрения.

При выводе шлака в твердом виде из холодной воронки котла появляется возможность использования пневмомеханической технологии шлакоудаления, что позволяет получить шлак с высокими потребительскими свойствами без ограничений по потерям при прокаливании и повысить КПД котла примерно на 0,4 % [5]. Следует отметить, что внедрение технологии пневмомеханического шлакоудаления позволило бы повысить коэффициент топливоиспользования за счет уменьшения горючих в шлаке до уровня ниже нормативного и практически полного исключения потерь с теплотой шлака.

Следует отметить, что обеспечение экономичного и надежного факельного сжигания угольной пыли в режиме ТШУ при возможном увеличении влажности и зольности угля с уменьшением содержания летучих на рабочую массу, а также при снижении температуры плавления

шлака является серьезной проблемой. Это определяется опасностями ухудшения экономичности и надежности сжигания, снижения производительности мельничного оборудования и локального шлакования топочных экранов [5].

3. ПРИМЕНЕНИЕ НОВОЙ СТУПЕНЧАТОЙ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ УГЛЯ

Снижение выбросов оксидов азота может быть достигнуто при использовании традиционного ступенчатого сжигания, например, кузнецкого тощего угля в режиме ТШУ. Однако, в этом случае мехнедожог в золе превышает нормативный уровень в несколько раз, а удельные выбросы NO_x превышают установленные нормативы в 1,5 раза и более. Применение новой технологии ступенчатого сжигания углей с малым выходом летучих, разработанной сотрудниками МЭИ, совместно с применением технологии пневмомеханического шлакоудаления позволяют уменьшать мехнедожог в шлаке и снижать выбросы оксидов азота ниже нормативных без строительства дорогостоящих азотоочистных установок [6]. Суть рассматриваемой технологии ступенчатого сжигания состоит в оптимизации аэродинамики факела за счет изменения компоновки и конструкции тангенциально направленных горелок и сопел (рис. 3).

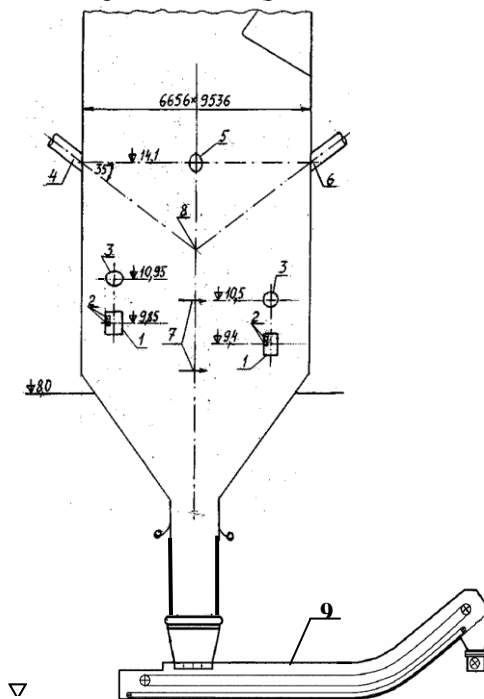


Рис. 3. Продольный разрез топки котла БКЗ-210-140Ф с видом на левую боковую стенку:

1 — основная пылеугольная горелка; 2 — угольные рассекатели ПКВ; 3 — сбросная горелка; 4 — фронтальное сопло третичного дутья; 5 — боковое сопло третичного дутья; 6 — заднее сопло третичного дутья; 7 — направление движения тангенциального потока топочных газов у левой боковой стенки топки; 8 — точка пересечения осей всех сопел третичного дутья; 9 — установка пневмомеханического шлакоудаления

Основное средство оптимизации — увеличение интенсивности омывания свежих горелочных струй тангенциальным потоком топочных газов с целью обеспечения раннего прогрева и зажигания угольной пыли. Для обеспечения этой же цели было признано оправданным смещение мест ввода в горелки пыли высокой концентрации (ПКВ) ближе к их боковым образующим — навстречу движению тангенциального потока топочных газов. Кроме того, в [7] было предложено освободить

струи горелок второго яруса от расхолаживающего влияния сбросного воздуха пылесистем (СВП), чтобы ускорить процесс зажигания угольной пыли.

Согласно [8] при анализе результатов внедрения на энергетических котлах разработанных в МЭИ схем ступенчатого сжигания кузнецких углей с высоким выходом летучих было установлено, что уровень снижения выбросов NO_x зависит от следующих основных факторов: избытка первичного воздуха, суммарного избытка воздуха на выходе из горелок и возможности непосред-

ственного контактирования частиц угольной пыли с топочными газами в корне горелочных струй. В свою очередь указанные факторы оказывают существенное влияние на надежность зажигания угольной пыли и величину мехнедожога, особенно при существенном увеличении влажности и зольности исходного топлива.

В таблице приведена оценка эффективности организации сжигания кузнецких и донецких каменных углей в котлах с ТШУ и ЖШУ.

Таблица. Комплексная эффективность факельного ступенчатого сжигания каменных углей и содержание горючих в сухих золах при разных вариантах организации топочного процесса в котлах с твердым и жидким шлакоудалением

Марка котла, станц. №, ТЭС, тип шлакоудаления	Марка угля	Состояние котла, год внедрения, источник информации	$D_{\text{ном}}/D_{\text{мин}}$ т/час	NO_x , мг/м ³	Q_n^p , ккал/кг	зольность A^p , %	влажность W^p , %	мехнедожог q_4 , %	п.п.п., % по массе
ПК-10, №7, Южно-Кузбасская ГРЭС, ТШУ	ТР	После реконструкции котла по техническим решениям Южно-Кузбасской ГРЭС [9]	230/165	1030	5500	17,5	9,5	5,4	18,66
ПК-10, Южно-Кузбасская ГРЭС, ТШУ	ТР	Предложения МЭИ по реконструкции котла	230/150	425	5900	16,2	10,0	3,2	13,61
БКЗ-210-140Ф, №5, ЗСТЭЦ, ТШУ	ГР	После реконструкции котла по рекомендациям ВТИ [9]	210/160	900	4985	26,0	6,9	2,3	5,63
	ПрПр	После первого этапа реконструкции котла по рекомендациям МЭИ, 2002	210/150	260	3715	44,6	6,2	14,3	13,87
	ГРОК	После второго этапа реконструкции котла по рекомендациям МЭИ, 2003, [10]	210/150	250	4400	21,8	15,4	5,3	12,63
	ГРОК	После второго этапа реконструкции котла по рекомендациям МЭИ, 2003, [10]	210/140	335	4755	20,2	14,2	1,1	3,38
БКЗ-210-140Ф, №6, ЗСТЭЦ, ТШУ	ГР	После реконструкции котла по рекомендациям ВТИ [9]	210/160	900	4847	18,0	14,3	2,2	7,41
		После реконструкции котла по рекомендациям МЭИ, 2003, [11]	210/150	450	4900	18,5	14,0	1,1	3,79
БКЗ-220-100Ф, №17, Кузнецкая ТЭЦ, ТШУ	ГР	Исходный вариант	220/160	1065	5602	13,6	12,0	2,15	10,69
		После реконструкции котла по рекомендациям МЭИ, 2004 [8]		785	5217	19,7	9,9	2,5	8,21
ТП-10, №7, Томь-Усинская ГРЭС, ТШУ	ГР	Исходный вариант	220/170	560	5000	17,0	15,0	1,4	5,27
		После реконструкции котла по рекомендациям МЭИ, 2003, [8]		380	5050	17,5	13,0	1,4	5,18
К-50-14-250, №№2-5, котельная г. Таштагол, ТШУ	ГР	Исходный вариант	50/30	800	4900	18,5	14,0	3,0	9,70
		После реконструкции котлов по рекомендациям МЭИ, 2008-2011 гг.	50/ (15...20)	450... 490	4700...4 900	18...20	14...16	2...3	6...8
ТП-87, №9, ЗСТЭЦ, ЖШУ	ГР	Исходный вариант	420/320	1175	4900	18,5	14,0	0,5	1,96
		После первого этапа реконструкции котла по рекомендациям МЭИ, 2005	420/210	570	4900	18,5	14,0	0,5	1,96
		Предложения МЭИ по реконструкции котла, проект	420/200	500	4900	18,5	14,0	0,3	1,19
ТП-87, ЖШУ	ТР	Предложения МЭИ по реконструкции котла по аналогии с [5], проект	420/310	500	6000	14,6	7,0	0,9	5,29
ТП-87, ТШУ	ТР	Предложения МЭИ по реконструкции котла, проект	420/300	320	6000	14,6	7,0	1,5	7,69
	ГР		420/270	300	5630	16,9	8,5	1,1	4,72
П-50, ТШУ	ТР	Предложения МЭИ по реконструкции котла, проект	475/350	320	5900	16,2	10,0	1,3	6,02
	ГР		475/320	300	5450	14,0	9,5	0,9	4,52
ТПП-312А, ТШУ	ГР	Предложения МЭИ по реконструкции котла, проект	1000/700	330	4509	28,5	11,0	1,0	2,09

$\text{NO}_x^H = 350 \text{ мг/м}^3$ — нормативные удельные выбросы оксидов азота для вновь вводимых котельных установок

Краткие комментарии к таблице

Об удельных выбросах оксидов азота. Для котла П-50 при расчете ЭК нормативные удельные выбросы оксидов азота приняты 350 мг/м^3 как для вновь вводимых котельных установок, а для других действующих котлов независимо от их паропроизводительности — 470 мг/м^3 . Такое решение нами принято из следующих соображений:

- природоохранные нормативы, как правило, ужесточаются;
- наилучшими доступными технологиями признаются те, использование которых дает наилучшие результаты;
- котельные установки ТЭС в большей части физически изношены и морально устарели, в связи с чем требуется их замена.

О содержании горючих в золошлаках. При факельном сжигании бурых углей п.п.п. в шлаках практически отсутствуют, а в летучей золе, как правило, составляют менее 5 % по массе. При факельном сжигании каменных углей котлах с ЖШУ мехнедожог в шлаках практически отсутствует, но в летучей золе п.п.п. могут значительно превышать 5 %. При анализе фактических и ожидаемых результатов внедрения рекомендаций МЭИ по ступенчатому факельному сжиганию каменных углей, представленных в таблице, можно сделать вывод о значительном снижении горючих в летучей золе. Однако, возможно и превышение норматива по п.п.п. 5 %, что является очень важным ограничивающим фактором, препятствующим полезному применению летучей золы. На подавляющем большинстве крупных ТЭС России в качестве золоулавливающих установок применяются электрофильтры. В случае превышения норматива по п.п.п. наилучшим выходом для снижения мехнедожога до уровня 2...4 % является применение технологии фирмы STI [3]. Как правило, при традиционном сжигании кузнецких, воркутинских и других каменных углей на ТЭС России п.п.п. летучей золы составляют 10...20 %, а при сжигании донецких углей п.п.п. могут составлять и 30 %.

О технологиях шлакоудаления из топок котлов. На всех упомянутых выше реконструированных котлах используются установки гидрошлакоудаления. К сожалению, на ТЭС России пока не применяется наиболее эффективная в настоящее время технология пневмомеханического шлакоудаления, которая уже около 30 лет используется в энергетике промышленно развитых стран мирового сообщества. Достаточно подробно достоинства и недостатки применяемых технологий шлакоудаления в энергетике приведены в [12]. Кратко можно отметить, что внедрение технологии пневмомеханического шлакоудаления позволило бы повысить коэффициент топливоиспользования за счет уменьшения горючих в шлаке до уровня ниже нормативного и практически полного исключения потерь с теплом шлака. Технология обеспечивает надежное механическое измельчение даже крупных (до 500...700 мм) кусков шлака и его охлаждение до 70 °С. Это позволило бы продавать шлак по цене не менее 45 евро за тонну (в ценах 2012 г.). Кроме того, следует отметить, что использование технологии пневмомеханического шлакоудаления позволяет отказаться от применения воды в качестве несущей среды. Неприменение в России надежных и экономически эффективных безводных технологий шлакоудаления было и является в настоящее время объективным тормозом для внедрения «сухих» технологий золошлакоудаления ТЭС в целом,

тогда как технологии сухого золоудаления на ТЭС России применяются с начала 1960-х годов.

В результате анализа тенденций развития энергетики стран мирового сообщества было установлено, что суммарные затраты на обращение с золошлаками с учетом инвестиций, эксплуатационных расходов и экологических платежей для «сухих» систем ЗШУ примерно в два раза ниже, чем для традиционных систем гидрозолошлакоудаления [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Взаимодействие специалистов по сжиганию углей в энергетических котлах и по решению проблемы обращения с золошлаками позволяет комплексно решать вопросы улучшения экономико-экологических показателей работы угольных электростанций и потребительских свойств золошлаков с целью увеличения уровня их полезного применения.

2. Внедрение технических решений МЭИ по организации трехступенчатого сжигания низкорекреационных каменных углей в пылеугольных энергетических котлах с твердым шлакоудалением на ТЭС России:

- приводит к значительному снижению горючих в золе и шлаке, что повышает их товарную ценность;
- обеспечивает технологические условия для создания экологически приемлемых безводных систем золошлакоудаления;
- позволяет снизить оксиды азота до уровня нормативных без строительства дорогостоящих азотоочистных установок;
- способствует значительному повышению надежности работы котлов.

3. Поскольку при внедрении технических решений МЭИ по организации трехступенчатого сжигания низкорекреационных каменных углей в пылеугольных энергетических котлах с твердым шлакоудалением на ТЭС России содержание горючих в золе и шлаке значительно снижается, но не обеспечивается гарантированное содержание п.п.п. менее 5 %, то эти решения нужно применять совместно с технологиями пневмомеханического шлакоудаления и извлечения несгоревшего углерода из золы и шлака.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. <http://ccp.e-apbe.ru/uploads/files/kotler-shtegman.pdf>
2. <http://msd.com.ua/kotelnnye-ustanovki-i-parogeneratory/topochnye-kamery-i-gorelki-dlya-szhiganiya-tverdyx-topliv/>
3. **Биттнер Д.Д., Газировски С.А., Левандовски В.** Технология сепарации фирмы STI для выделения мехнедожога из летучей золы. Материалы II Международного научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование». Москва, 23-24 апреля 2009 г. — М.: Издательский дом МЭИ. — с. 80-86.
4. **Хыщнар Я.** Зола котлов с ЦКС – производство и утилизация. Материалы II Международного научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование». Москва, 23-24 апреля 2009 г. — М.: Издательский дом МЭИ. — с. 53-56.
5. О целесообразности перевода котлов на режим твердого шлакоудаления при реконструкции ТЭС // **А.М. Архипов, Ю.М. Липов, В.Я. Путилов и др.** Матер. II Межд. научн. практ. семинара «Золошлаки ТЭС — удаление, транспорт, переработка, складирование». Москва, 23-24 апреля 2009 г. М.: Издательский дом МЭИ. - с. 104-109.
6. **Putilov V.Y., Putilova I.V., Arkhipov A.M.** Wplyw technologii spalania sproszkowanego węgla w kotłach z

- suchym dnem na emisję NOx oraz na poziom strat prażenia w popiele lotnym. "Papioly z energetyki", Zakopane, 21 – 24 października, 2009, pp.35-57.
7. **Архипов А.М.** Возможные пути оптимизации ступенчатого сжигания угля с пониженным выходом летучих, Теплоэнергетика №1, 2009 г., с. 60-62.
 8. **А.М. Архипов, В.Я. Путилов.** Ступенчатое факельное сжигание кузнецких углей на ТЭС. Теплоэнергетика, №8, 2009, с.52-57.
 9. **Григорьев Д. Р., Николаев А.А.** Проблемы экологически чистого и экономичного сжигания тощего угля на котлах ПК-10 Южно-Кузбасской ГРЭС, Электрические станции, №2, 2006 г., с. 2-8.
 10. **Вагнер А.А.** Повышение надежности, экономичности и экологической эффективности работы котла БКЗ-210-140Ф при переводе на ступенчатое сжигание кузнецкого угля в U-образном факеле. Электрические станции, №5, 2004 г., стр.17-21.
 11. **Вагнер А.А.** Комплексное повышение эффективности ступенчатого сжигания кузнецкого угля на котле с тангенциально направленными горелками и твердым шлакоудалением. Электрические станции, №10, 2004 г., стр.28-43.
 12. **Современные** природоохранные технологии в электроэнергетике: Информационный сборник / В.В. Абрамов и др.; под общей ред. В.Я. Путилова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007 — 388 с.: ил.
 13. **Путилов В.Я., Путилова И.В.** Анализ общемировых тенденций и перспективы решения проблемы золошлаков ТЭС в России / Сб. международного научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование» под общей редакцией В.Я. Путилова, М., Издательский дом МЭИ, 2007, стр.11-17.
- Путилов В.Я., Архипов А.М., Путилова И.В.** Комплексные решения по обеспечению потребительских свойств золошлаков и улучшению эколого-экономических показателей работы тепловых электростанций России при сжигании каменных углей непостоянного качества // Материалы Международной конференции "Eurocoalash 2012", Салоники, Греция, 25–27 сентября 2012 г.