

УДК 621.181

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА НА КОТЛАХ ТЭЦ г. БИШКЕК

<sup>1</sup>Осинцев К.В., <sup>1</sup>Осинцев В.В., <sup>2</sup>Джундубаев А.К., <sup>3</sup>Богаткин В.И.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО ЮУрГУ (НИУ), <sup>2</sup>КНТЦ «Энергия»,

<sup>3</sup>ОАО «Объединение ВНИПИэнергопром»

Оборудование спроектированной на сжигание карагандинского промпродукта ТЭЦ г. Бишкек по большей части выработало свой ресурс. Сегодня стоит вопрос о частичной его замене или полной реконструкции электростанции. Ориентироваться при этом необходимо на новый для ТЭС вид топлива – каракечинский бурый уголь с высоким выходом летучих веществ, а, значит, и модернизацию систем его сжигания.

Строительство и развитие ТЭЦ г. Бишкек начиналось с оснащения котлами БКЗ-160. Проект установки котлов выполнен с минимизацией затрат на топливоподачу и пылеприготовление, исключен даже мельничный резерв. В топке максимально сокращено количество разводок экранных труб под установленные в один ярус горелки. В каждой горелке – по два пылевых канала с пылепитанием от различных мельниц (рис. 1 а, б). При такой компоновке оказываются завышенными тепловые напряжения сечения  $q_F \approx 2,8 \text{ МВт/м}^2$  и лучистой поверхности экранов  $q_{\text{лр}} \approx 1,7 \text{ МВт/м}^2$  в зоне активного горения (нормируемые для топок с твердым шлакоудалением значения  $q_F^H \leq 1,2 \text{ МВт/м}^2$  отдельного горелочного яруса и  $q_{\text{лр}}^H \leq 0,8 \text{ МВт/м}^2$ ). Завышен также температурный уровень факела в конце зоны активного горения на  $\Delta T''_{\text{ар}} \geq 100 \text{ К}$  [1, 2, 3]. В этих условиях даже при работе на проектом топливе начинались плавиться частицы топливной породы, шлаковались экраны, холодная воронка, забивались шлаком шнеки шлакоудаления. Котлы в аварийном порядке останавливали на расшлаковку. Для улучшения топочного процесса на котлах была выполнена малозатратная реконструкция систем сжигания с организацией рассредоточенного ввода в зоны активного горения реагентных потоков. Это вызвало изменение характера горения пыли проектного угля со снижением температурного уровня факела, в том числе в конце зоны активного горения  $T''_{\text{ар}}$ . В результате снизилась активность шлакования топочных камер, повысилась до проектной величины паровая нагрузка котлов, уменьшилась концентрация оксидов азота в отводимых продуктах сгорания (рис. 1, в) [1]. Начиная с 2002 г. по настоящее время КНТЦ «Энергия» совместно с ТЭЦ г. Бишкек периодически проводят опытные сжигания небольших партий нового топлива. При сжигании пыли бурого угля каракечинского месторождения в углах и на скатах холодных воронок топок котлов БКЗ-160 даже при рассредоточенном вводе реагентов вновь появляются следы шлака. При нагрузках  $D_{\text{пп}} \geq 135 \text{ т/ч}$  начинают шлаковаться также ширмы. Для организации нормальной работы котлов требуется более радикальное вмешательство в конструктивное оформление зоны активного горения топок с уменьшением тепловых напряжений согласно существующим Нормам проектирования [2, 3].

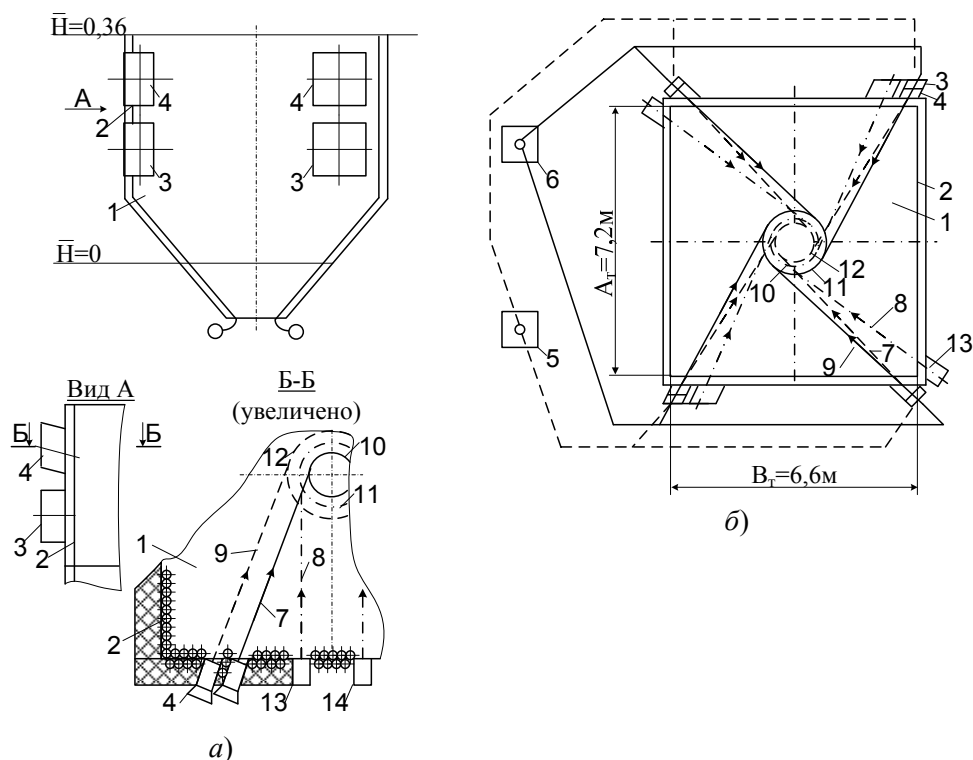


Рис. 1. Схема топки котла БКЗ-160: *а, б* – продольный и поперечный разрезы зоны активного горения топки с существующими пылепроводами и многофункциональными горелками на боковых стенах; 1 – зона активного горения топки; 2 – экраны; 3, 4 – горелки нижнего и верхнего ярусов; 5, 6 – мельницы; 7, 8, 9 – потоки пылевоздушной смеси, природного газа, воздуха; 10, 11, 12 – условные окружности касания реагентов 7, 8, 9; 13 – газовые сопла; 14 – мазутные форсунки;  $\bar{H} = H/H_T$ , где  $H$  и  $H_T$  – текущая и полная высота топки, м.

При этом значение показателя  $q_{\text{лг}}$  можно уменьшить путем увеличения межярусного расстояния с вынесением пылепроводов из существующих горелочных блоков (рис. 1, *з*). Безопасное же нормативное значение  $q_{\text{лг}}^{\text{н}}$  при фиксированных размерах топки реализуется только со снижением тепловой и паровой нагрузок на  $\sim 15\%$  ( $D_{\text{пп}} \approx 0,85 D_{\text{пп}}^{\text{н}} \approx 136 \text{ т/ч}$ ) [2, 3].

Между тем бесшлаковочную нагрузку можно повысить при переходе к низкотемпературному сжиганию топлива. Для этого предлагается сохранить уже реализованный на котлах приточно-диффузионный механизм питания факела окислителем при отдельном (рассредоточенном) вводе реагентных потоков в топку. Однако целесообразно перейти к специально разработанным многофункциональным горелочным устройствам. Опыт работы таких горелок показывает, что в направлении амбразур формируются сверхнизкие значения падающих тепловых потоков. Это повышает их долговечность с продлением межремонтного срока до 12 – 16 лет и более. В низкотемпературном факеле понижается активность окислительных процессов, образования, в частности, оксидов азота. Концентрация этого вредного для здоровья людей и окружающей среды вещества в отводимых продуктах сгорания оказывается ниже, чем при обычном сжигании пыли.

Устойчивое горение частиц угольной пыли в факеле многофункциональной горелки без подсветки высокорреакционным топливом достигается при содержании летучих веществ на горючую массу  $V^{\text{г}} \geq 20\%$ . При  $V^{\text{г}} \geq 40\%$  согласно

норм безопасности пылеприготовления в мельницы следует подавать газы рециркуляции, снижающие концентрацию кислорода до  $O_2 \leq 16\%$ . Последующий вывод инертного балласта с пылью в топку и его вовлечение в воспалительный процесс приводит к дополнительному снижению температуры факела. При вводе в мельницы, а затем в топку вместе с пылью бурого угля с  $V^r \geq 40\%$  газов рециркуляции изменяются характеристики не только горения, но и теплообменных процессов. В частности, увеличиваются температура выводимых из котла продуктов сгорания и потери теплоты с уходящими газами. Приращение последних составляет  $\Delta q_2^{rp} = 0,2 - 0,6\%$ . При переходе на сжигание пыли каменного угля с  $V^r < 40\%$  необходимость в газах рециркуляции отсутствует, параметр  $\Delta q_2^{rp} = 0\%$ .

Появляющаяся в зоне активного горения температурная неравномерность способна вызвать локальное шлакование. Неравномерность уменьшается рационализацией схем компоновки и включения горелок [5, 6]. Рекомендуемая для котлов БКЗ-160 схема размещения многофункциональных горелок представлена на рис.1. Схема учитывает возможность использования пыли как проектного каменного, так и каракечинского бурого угля, других твердых топлив, природного газа, подсветочного (растопочного) мазута.

Вторая очередь ТЭЦ г.Бишкек оснащена котлами БКЗ-220, в которых частично учтены проектные недостатки котлов БКЗ-160. В топках с двухъярусной встречной компоновкой вихревых горелок, размещенных на боковых стенах, величина теплового напряжения лучистой поверхности экранов в зоне активного горения  $q_{лг} \approx 0,94 \text{ МВт/м}^2$  соответствует нормируемому показателю  $q_{лг}^{\text{проект}} \leq 1,0 \text{ МВт/м}^2$  для проектного каменного угля и близко  $q_{лг}^{\text{проект}} \leq 0,9 \text{ МВт/м}^2$  для бурого угля (рис. 2) [2, 3, 7].

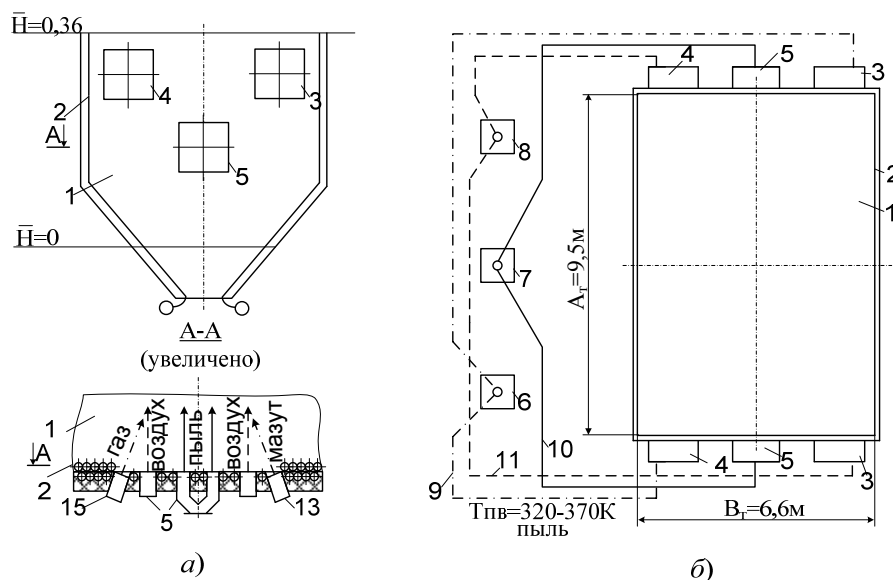


Рис. 2. Схема топки котла БКЗ-220: а, б – продольный и поперечный разрезы зоны активного горения топки с существующими пылепроводами и многофункциональными горелками на боковых стенах; 1 – зона активного горения топки; 2 – экраны; 3, 4 – горелки верхнего яруса; 5 – горелки нижнего яруса; 6, 7, 8 – мельницы; 9, 10, 11 – пылепроводы от мельниц 6, 7, 8 к горелкам 3, 4, 5; 12 – газовые сопла; 13 – мазутные форсунки;  $\bar{H} = H/H_r$ , где  $H$  и  $H_r$  – текущая и полная высота топки, м.

Значение теплового напряжения сечения топки по верхнему ярусу горелок  $q_F = 1,8 \text{ МВт/м}^2$  завышено на  $\sim 20 \%$ . Однако при сжигании проектного топлива необходимости снижать нагрузку рассматриваемого агрегата в эксплуатации не возникает. Это обусловлено оригинальной заводской компоновкой горелок «треугольником» при уменьшенном тепловом напряжении сечения топки для нижнего горелочного яруса. Но эти котлы также лишены мельничного резерва. Связанные с этим основные проблемы, появляются в отопительный сезон.

Отключение мельницы влечет снижение тепловыделения и паровой нагрузки котла. Для сохранения последней в отключенные по пыли горелки подают газ. При его дефиците в топке распыливают мазут. Совместное сжигание последнего с пылью ухудшает горение твердых топливных частиц, активизирует процесс шлакования. В отсутствие подсветки отключение одной из мельниц и пылепроводов в верхнем ярусе горелок влечет характерное смещение факела к противоположной стене с «захолаживанием» зон эжекции работающих горелок. Это хорошо видно по представленным безразмерным полям температуры. Поля получены на слабонеизотермической модели в масштабе 1:25 с принятыми в теплоэнергетике условиями приближенного моделирования (рис. 3, а, б) [8,9]. В период сжигания сильно окисленного забалластированного породой и влагой каракечинского бурого угля при пониженной по требованиям правил взрывопожаробезопасности температуре пылевоздушной смеси происходит затягивание процесса прогрева реагентных потоков со срывом воспламенения. Изменяя способ ввода реагентов в топку, можно достичь улучшения картин распределения температуры и условий зажигания топливо-воздушной смеси. При переразводке пылепроводов с диагональным подводом пылевоздушной смеси к горелкам на встречный подвод реализуется устойчивая схема зажигания. Однако формируемый при этом повышенный уровень неравномерности крайне нежелателен с позиций развития процесса шлакования экранов и ширм (рис. 3,в). При фронтальной компоновке горелок максимум температуры постоянно смещен к задней стене. В режимах отключения мельниц уровень неравномерности также высок [6]. Стабильное зажигание при пониженной неравномерности можно реализовать разворотом горелок верхнего яруса по касательным к условным окружностям в центре топки (рис. 3, г, д, е). Для улучшения работы котлов на пыли разнородного твердого топлива, в том числе ухудшенного качества, в верхнем ярусе могут быть установлены многофункциональные горелки по типу рис.1г, а в нижнем – по рис.2в. Реализуемый при работе этих горелок всё тот же механизм приточно-диффузионного подвода окислителя в факел обеспечивает минимизацию температурного уровня в зоне активного горения, повышение надежности горелочных амбразур, уменьшение активности шлакования топочных экранов и пароперегревателей, снижение концентрации оксидов азота в отводимых продуктах сгорания.

Проектную документацию, необходимые разводки экранных труб и элементы многофункциональных горелок способен квалифицированно выполнить завод-изготовитель котлов БКЗ-160 и БКЗ-220.

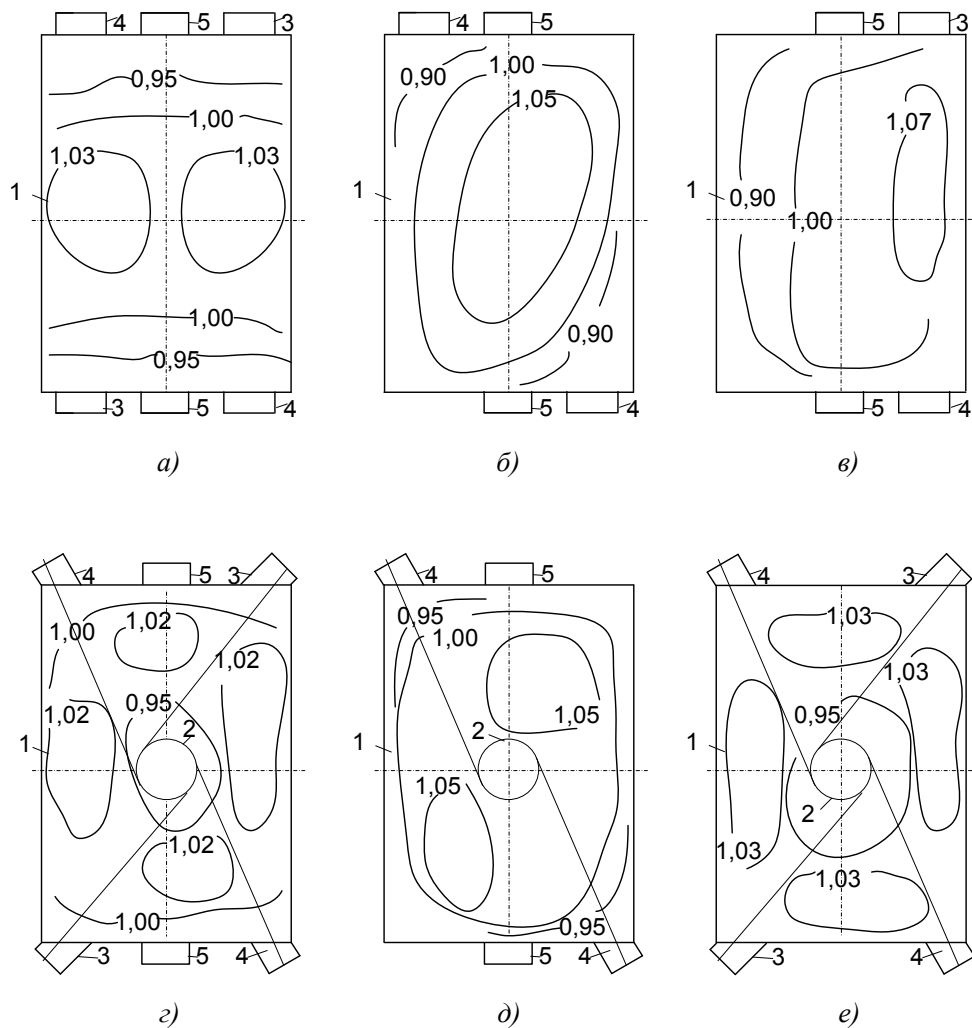


Рис. 3. Безразмерные распределения температуры ( $\bar{T}$ ) в выходном сечении зоны активного горения ( $\bar{H} = 0,36$ ): *a, б* – существующая схема встречно-диагонального ввода пыли в топку, в работе 3 и 2 мельницы соответственно; *в* – встречная схема ввода пыли в топку, в работе 2 мельницы; *з, д, е* – встречно-тангенциальная схема ввода пыли в топку; *з* – в работе 3 мельницы; *д, е* – в работе 2 мельницы; 1 – зона активного горения топки 2 – условная усредненная окружность касания системы струй многофункциональных горелок; 3, 4 – горелки верхнего яруса; 5 – горелки нижнего яруса;  $\bar{T} = T/T_{cp}$  – локальная и средняя в сечении температура, К;  $\bar{H} = H/H_T$  где  $H$  и  $H_T$  – текущая и полная высота топки, м.

Возникающие вслед за этим вопросы повышения экономичности сжигания топлива напрямую связаны с состоянием вспомогательного оборудования. Удручающе выглядят среднеходные мельницы котлов БКЗ-160, где в провал и затем в систему шлакозолоудаления уходит до 5,0 % и более всего топливного потока. Высока и степень износа воздухоподогревателей этих котлов, что вызывает значительную утечку воздуха в поток продуктов сгорания и прирост потерь с уходящими газами  $\Delta q_2$ . С учетом этих обстоятельств КПД котлов брутто сегодня едва достигает 83 – 85 % против проектных 89 – 90 %. Замена мельниц и восстановление воздухоподогревателей на котлах БКЗ-160 необходимы. При замене следует учитывать проблему отсутствия мельничного резерва, вызывающего большой перерасход подсветочного газа и мазута. Размещение дополнитель-

ных твердотопливных измельчителей в котловых ячейках с существующей бункерно-питательной системой сырого угля из-за большого объема реконструкции последней вряд ли целесообразно. А вот замена существующих мельниц на более производительные по пыли установки с доведением расхода топлива, обеспечивающего несение котлами устойчивой нагрузки  $D_{пп} \geq 0,7 D_n$  без подсветки высокорекреационным топливом – вполне оправданное мероприятие, если оно реализуется одновременно с переходом к низкотемпературному горению.

При проведении опытного сжигания небольших партий каракечинского угля, доставляемого на ТЭЦ г.Бишкек автотранспортом, столкнулись с проблемой быстрой окисляемости свежедобытого топлива с потерей теплоты сгорания:  $\Delta Q_n^p = Q_{нд}^p - Q_{нп}^p \approx 4600 - 3600 = 1000$  ккал/кг, где  $Q_{нд}^p$ ,  $Q_{нп}^p$  – теплота сгорания свежедобытого и поставляемого на склад ТЭЦ г.Бишкек угля, ккал/кг. Высокое содержание CaO > 15% в породе приводит к зарастанию мокрых золоуловителей и каналов ГЗУ соединением CaCO<sub>3</sub>. ТЭЦ выгодно использовать топливо, имеющее повышенную теплоту сгорания, поскольку снижается загрузка оборудования топливоподачи и мельниц, уменьшаются затраты на собственные нужды. Это возможно при доставке свежедобытого угля в закрытом от прямого солнечного облучения транспорте и загрузке топливоподачи «с колес», без хранения на открытом складе. Вопросы повышения надежности золоуловителей необходимо решать в комплексе с повышением их эффективности. Для этого необходимо более детальное изучение процесса с разработкой отдельных рекомендаций и технических предложений.

Таким образом, использование многофункциональных горелок со схемами установки по рис.1, 2 существенно улучшит протекание факельных процессов в топках, снизит активность шлакования, выход оксидов азота, позволит поднять паровую нагрузку. Параллельно с установкой новых горелок целесообразно решать вопрос повышения экономичности и надежности с улучшением работы мельничного оборудования, воздухоподогревателей и системы гидрозолоудаления.

## Литература

1. Перевод котла БКЗ-160 на технологию ступенчатого сжигания топлива / В.В. Осинцев, А.К. Джундубаев, В.Я. Гигин и др. // Электрические станции. – 1993. – №3. – С. 25 – 29.
2. Тепловой расчет котлов. Нормативный метод. Изд. 3-е. перераб. и доп. СПб.: НПО ЦКТИ-ВТИ, 1998. – 257 с.
3. Митор, В.В. Проектирование топок с твердым шлакоудалением (дополнение к нормативному методу теплового расчета котельных агрегатов). Руководящие указания // В.В. Митор, Ю.Л. Маршак. – Л.: ВТИ - НПО ЦКТИ, 1981. – вып. 42. – 118 с.
4. Управление тепловой структурой факела в топках котлов БКЗ-210-140Ф с однорядной фронтальной компоновкой горелок при сжигании разнородного топлива / К.В. Осинцев, В.В. Осинцев, М.П. Сухарев, Е.В. Торопов // Теплоэнергетика. – 2005. – №9. – С. 14 – 23.
5. Осинцев, К.В. Учет неоднородности и неустойчивости тепловой структуры топочного факела при использовании многофункциональных горелок / Осинцев К.В., Осинцев В.В. // Теплоэнергетика. – №6. – 2007. – С. 66 – 70.

6. Совершенствование методов снижения температурных неравномерностей в топках с фронтальной компоновкой горелок / В.В. Осинцев, В.В. Осинцев, А.М. Хидиятов, др. // Теплоэнергетика. – 1990. – №4. – С.23 – 26.
7. Перевод котла БКЗ-220 на технологию ступенчатого сжигания топлива / В.В. Осинцев, А.К. Джундубаев, В.Я. Гигин, др. // Электрические станции. – 1991. – №11. – С. 17 – 22.
8. Михеев, М.А. Моделирование тепловых устройств / М.А. Михеев, М.В. Кирпичев. – М. – Л.: Изд-во АН ССР, 1936. – 180 с.
9. Кутателадзе, С.С. Моделирование теплоэнергетического оборудования / С.С. Кутателадзе, Д.Н. Ляховский, В.А. Пермяков. – М. – Л.: Энергия, 1966. – 340 с.