

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print).
The problems of general energy. 2017, 2(49): 49-55
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2017.02.049>

УДК 622.613.124

Л.А. КЕСОВА, д-р техн. наук, проф., **Ю.Н. ПОБИРОВСКИЙ**, канд. техн. наук,
П.П. МЕРЕНГЕР,
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт
имени Игоря Сикорского»,
проспект Победы, 37, г. Киев-56, 03056, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЛА ТПП-210А ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗКАХ И РАЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПЫЛЕПОДАЧИ НА ГОРЕЛКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ЖИДКОГО ШЛАКОУДАЛЕНИЯ

Приведены результаты исследований работы котла ТПП-210А, сжигающего уголь марки АШ, при нагрузках блока 240–300 МВт и двух технологиях пылеподачи на горелки – традиционном пневмотранспорте пыли первичным воздухом и высококонцентрированной пылеподаче под давлением (ПВКд) с оценкой влияния этих технологий на режимы жидкого шлакоудаления. Определены степень влияния основных факторов на устойчивость выхода жидкого шлака и расход подсветочного мазута. Результаты исследований выявили возможность повышения экономичности работы котла за счет снижения расхода мазута на подсветку при использовании технологии ПВКд, которую следует рассматривать как способ улучшения топочных режимов в котлах, сжигающих низкорекционные угли при жидком шлакоудалении.

К л ю ч е в ы е с л о в а: котел, пылеподача, высокая концентрация, жидкое шлакоудаление.

Большинство пылеугольных котлов тепловых электрических станций Украины работают с жидким шлакоудалением. На выход жидкого шлака оказывают влияние: электрическая мощность блока $N_э$; теплотворная способность топлива Q_n^p ; коэффициент избытка воздуха α_m ; разрежение H_m и присосы в топке α_{np} ; химический состав и тонкость помола сжигаемого угля; минеральный состав золы топлива. Зависимости температур начала размягчения золы t_4 , нормального жидкого шлакоудаления $t_{нж}$ и жидкоплавкого состояния t_3 от состава золы коррели-

руются с процентным содержанием соединений тугоплавких кислотных и щелочно-земельных металлов $K = SiO_2 + Al_2O_3 - CaO - MgO$, диапазон изменения $K = 15-70\%$. На жидкоплавкое состояние шлака оказывает влияние соотношение SiO_2/Al_2O_3 в минеральной массе. Исследования показывают, что устойчивое жидкое состояние шлака обеспечивается при соотношении $SiO_2/Al_2O_3 \approx (2-3)$ [1, 2].

Процессом шлакоудаления с помощью режимных факторов можно управлять через температуру в контрольной точке пода топки – t_k^n . Для углей с постоянным составом минеральной части $t_k^n = \varphi \times (N_э, Q_n^p, \alpha_m, \alpha_{np}, H_m)$.

© Л.А. КЕСОВА, Ю.Н. ПОБИРОВСКИЙ,
П.П. МЕРЕНГЕР, 2017

Задача настоящего исследования на котле ТПП-210А сводилась к оценке влияния отдельных факторов на изменение температуры t_k^n , корреляция которой с температурой шлака достаточно высока. В качестве такой точки при измерениях выбрана температура середины начального сечения летки [2].

Установлено, что при изменении состава угля одной из основных является зависимость t_k^n от теплоты сжигания топлива. При номинальной нагрузке блока и снижении Q_n^p с 20,0 до 17,5 МДж/кг температура t_k^n (при прочих равных условиях) уменьшается примерно на 150 °С. В условиях же реальной эксплуатации диапазон ее измене-

ния может быть значительно большим [1].

При проведении исследований продолжительность опыта для получения одной точки по температуре t_k^n составляла 45–60 мин. Избытки воздуха в топке соответствовали режимной карте. Визуальные наблюдения за характером слива шлака дали следующую качественную картину его состояния на входе в летку:

1. «ШЖ» – шлак жидкий; имеет высокую текучесть, непостоянство «русла», яркое свечение;
2. «ШВ» – шлак вязкий, характеризуется постоянством или медленным перемещением «русла» (струйки темного цвета, длиной до 2 м; в нижней части

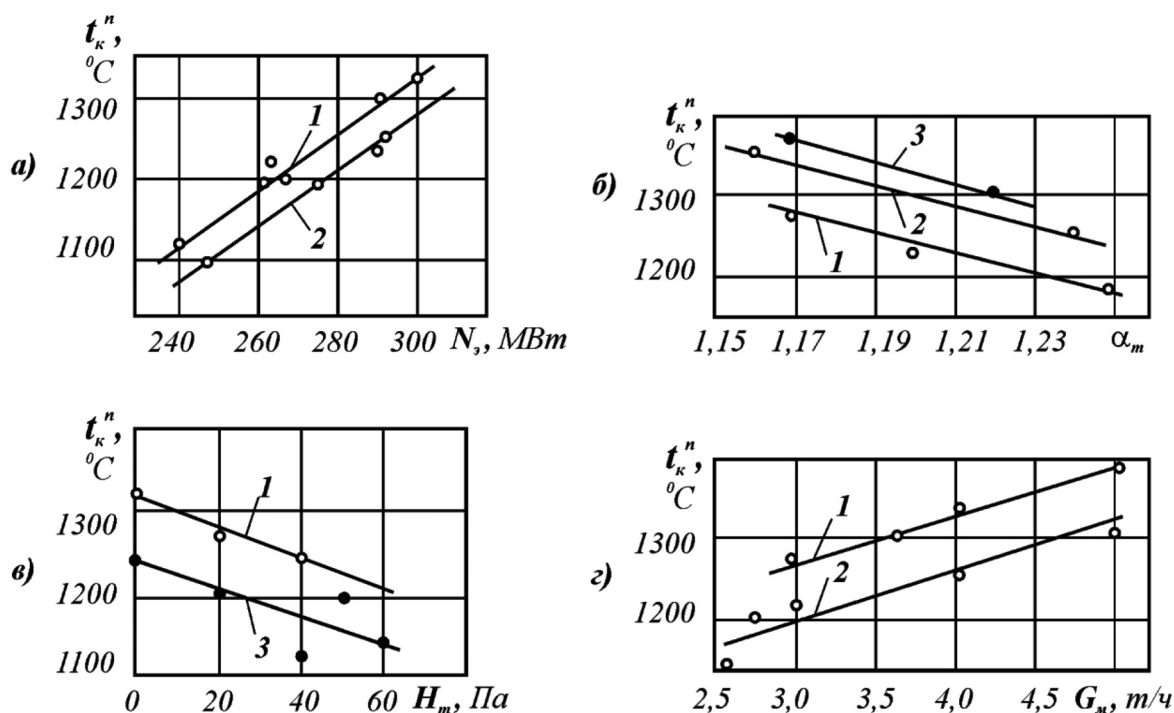


Рис. 1. Зависимость контрольной температуры пода от режимных факторов:

- а – зависимость t_k^n от мощности блока ($Q_n^p = 20$ МДж/кг, $\alpha_{np} = 7,5\%$): 1 – $G_m = 4,0$ т/ч; $H_m = -40$ Па; $\alpha_m = 1,20$; 2 – то же; $\alpha_m = 1,24$.
- б – зависимость контрольной температуры пода t_k^n от коэффициента избытка воздуха в топке ($Q_n^p = 20$ МДж/кг, $\alpha_{np} = 7,5\%$): 1 – $N_g = 290$ МВт; $H_m \approx -40$ Па; $G_m = 3,0$ т/ч; 2 – то же, что 1, но $G_m = 4,0$ т/ч; 3 – $N_g = 240-250$ МВт; $H_m \approx 0,0$ Па; $G_m = 5,0$ т/ч;
- в – зависимость t_k^n от разрежения в топке ($Q_n^p = 20$ МДж/кг, $\alpha_{np} = 7,5\%$): 1 – $N_g = 240-250$ МВт; $\alpha_m = 1,18$; $G_m = 5,0$ т/ч; 2 – то же, что 1, но $G_m = 4,0$ т/ч;
- з – зависимость t_k^n от расхода мазута на один корпус котла ($Q_n^p = 20$ МДж/кг, $\alpha_{np} = 7,5\%$): 1 – $N_g = 290-300$ МВт; $H_m = -40$ Па; $\alpha_m = 1,17$; 2 – то же; $\alpha_m = 1,22$

летки имеют высокую вязкость и падают большими кусками);

3. «ШТ» – шлак твердый; имеет темный цвет, вниз стекает медленно (на входе в летку застывает «карнизом» и постепенно закрывает ее).

Выделялись и промежуточные режимы по состоянию шлака: «ШЖТ» – между 1 и 2; «ШВТ» – между 2 и 3. «ШВТ» является предельным по сливу шлака, который становится вязким, твердеющим и вытекает «узлами». Этот режим сильно зависит от температуры и при небольшом ее снижении переходит в «ШТ». Оптимальным эксплуатационным режимом по сливу шлака в процессе испытаний был принят «ШВ». Зависимости контрольной температуры пода от режимных факторов приведены на рис. 1.

При исследованиях рассматривались три схемы включения форсунок: пять, четыре и три. Результаты, полученные на корпусе ЗБ котла (рис.1), показали, что на величину t_k^n сильное и примерно одинаковое влияние оказывают все основные параметры топочного процесса. Как видно из рис. 1, а, наиболее сильное влияние на температуру t_k^n оказывает электрическая мощность блока. При снижении $N_э$ с 300 до 240 МВт t_k^n уменьшается на 200 °С. Зависимость t_k^n от $N_э$ можно аппроксимировать линейной функцией, при этом угловой коэффициент ее практически не зависит от начальных условий. Зависимость температуры t_k^n в контрольной точке от коэффициента избытка воздуха в топке α_m (эксплуатационные колебания значений составляли $\approx 10\%$) представлена на рис. 1, б. Установлено, что изменение α_m от 1,16 до 1,24 приводит к снижению t_k^n примерно на 100 °С. Также влияет и величина разрежения в топке H_m (рис. 1, в), причем с уменьшением α_{np} влияние H_m на t_k^n снижа-

ется. При работе котла на АШ и шлаках надежный слив шлака обеспечивается при $t_k^n = 1260 - 1280$ °С, что соответствует температуре начала нормального жидкого шлакоудаления.

Экстраполяция экспериментальных данных показала, что условие $t_k^n \approx t_{нж}$ при $\alpha_{np} = 0$ и $\alpha_m = 1,2$ обеспечивается при значениях $Q_n^p = 22$ МДж/кг. Суммарное изменение температуры можно представить в виде:

$$\Delta t_k^n = \sum_{i=1}^m \delta t_{ki},$$

где δt_{ki} – изменение температуры в контрольной точке при изменении одного из влияющих факторов.

Для основных влияющих факторов имеем (рис.1):

$$\Delta t_{k1} = -a_1^1(300 - N_э),$$

$$\Delta t_{k2} = -a_2^1(22 - Q_n^p),$$

$$\Delta t_{k3} = -a_3^1(1,2 - \alpha_m),$$

$$\Delta t_{k4} = -a_4^1\alpha_{np}(40 - H_m),$$

где a_i^1 – коэффициенты полученных экспериментальных зависимостей для соответствующих факторов.

Универсальным средством, обеспечивающим необходимое значение t_k^n в условиях эксплуатации, является подсветка факела мазутом.

Как видно из рис. 1, з, увеличение расхода мазута G_m на 1 т/ч приводит к повышению t_k^n примерно на 50 °С. Представляя приращение t_k^n от G_m в виде:

$$\Delta t_k^n = a_0 \Delta G_m,$$

получаем условие обеспечения нормального слива шлака при изменении исследованных факторов:

$$\Delta t_k^n = \sum_{i=1}^m \delta t_{ki} + a_0 \Delta G_m.$$

Влияние расхода мазута можно оценить в виде:

$$\Delta G_m = a_1 N_3 + a_2 \Delta Q_H^p - a_3 \Delta \alpha_m - \alpha_{np} a_4 \Delta H_m,$$

где $a_i = a_i^1 / a_0$.

С учетом экспериментально полученных коэффициентов получаем:

$$G_m = 6,66 \cdot 10^{-2} (300 - N_3) + 1,2 (22 - Q_H^p) - 25 (1,2 - \alpha_m) - 0,05 \cdot \alpha_{np} (40 - H_m).$$

Таким образом, для пылеугольного котла типа ТПП-210А энергоблока мощностью 300 МВт при сжигании угля марки АШ, согласно выполненным расчетам и анализу результатов испытаний, можно констатировать:

– наличие присосов и эксплуатационные колебания избытка воздуха α_m и разрежения в топке H_m могут приводить к пережогу мазута до 2–3 т/ч;

– снижения расхода мазута можно достичь двумя способами: отключением нескольких форсунок или снижением рабочего давления мазута p_m , что мало влияет на температуру пода топки;

– ухудшение распыла мазута с уменьшением давления приводит к снижению интенсивности и полноты горения, а также к некоторому уменьшению t_k^n . (При проведении исследований этого не наблюдалось, поскольку улучшение равномерности распределения мазута по сечению топки по сравнению с отключением части форсунок компенсирует снижение качества распыла);

– на номинальном режиме надежный

слив шлака обеспечивается при расходе на подсветку $G_m = 2,7-3,0$ т/ч и работе трех/четырех форсунок, однако при 4-х форсунках и давлении мазута $p_m = 2,3$ МПа t_k^n увеличивается на 20 °С по сравнению с 3-мя форсунками;

– при $G_m = 3,6$ т/ч и $p_m = 2,9$ МПа шлак имеет заметный избыточный перегрев, его состояние соответствует типу «ПЖ»;

– при $N_3 = 240$ МВт процесс горения ухудшается, факел отодвигается от горелки; ядро максимальных температур поднимается вверх топки. Температура пода резко снижается. При этом минимальный расход мазута при 5-ти форсунках и $p_m = 2,4-2,9$ МПа составляет 4,1–4,5 т/ч.

Таким образом, по условиям надежного слива шлака расход мазута при $H_m \leq 40$ Па и $\alpha_m \leq 1,2$ может быть снижен на 0,5–1,0 т/ч на корпус. При регулировании расхода мазута давлением экономия его будет больше. Сопоставление зависимостей расхода мазута от мощности для схемы регулирования числом форсунок (ступенчатая линия 1) и изменением давления мазута на всех форсунках (линия 2) приведено на рис. 2.

Ступенчатая схема регулирования имеет существенные недостатки: в большей части режимов расход мазута избыточен; в области $N_3 = 240-250$ МВт при нормальной эксплуатации возможно зашлаковывание пода; при стечении неблагоприятных отклонений параметров до значений $H_m = 60$ Па и $\alpha_m = 1,24$, что наблюдается довольно часто, зона зашлаковывания расширяется до $N_3 = 265$ МВт.

При снижении нагрузки блока до 80% номинальной необходимый диапазон изменения расхода мазута составляет 1,55, до 70% – 1,8.

В «Нормах расчета и проектирования...» [3] приведен расход мазута на аварийно-технологические нужды электростанций

при сжигании АШ и шламов с $Q_n^p = 16,8$ Дж/кг. В диапазоне изменения $Q_n^p = 16,8 - 21,8$ МДж/кг и работе только в одном режиме расход мазута на блок изменяется более чем в 7 раз. Если принять расчетное значение $Q_n^p = 18,9$ МДж/кг, то отклонение Q_n^p на величину $\Delta Q_n^p = 2,1$ МДж/кг потребует изменения расхода в 3,5 раза, а с учетом изменения диапазона нагрузки – примерно в 6,5 раза. Без замены типа форсунок такой диапазон работы при механическом распыле мазута обеспечить практически невозможно.

Сравнительные исследования работы котла при традиционном пневмотранспорте пыли и подаче пыли с высокой концентрацией под давлением проводились в режимах $N_3 = 300$ МВт и $N_3 = 225$ МВт ($Q_n^p = 18,5$ МДж/кг, $\alpha_m = 1,27$, расход мазута на подсветку 4 и 5 т/ч, расход транспортирующего воздуха на горелку – 45 кг/ч). В режиме $N_3 = 300$ МВт переход на ПВК_д дает повышение t_k^n на 90 °С (с 1265 до 1355 °С), что равнозначно увеличению расхода мазута на подсветку факела на 1,8 т/ч на корпус.

При снижении нагрузки блока общая картина сохраняется. В режиме $N_3 = 225$ МВт с переходом на ПВК_д температура пода увеличивается на 55 °С (с 1270 до 1325 °С). Некоторое снижение прироста температуры t_k^n при уменьшении нагрузки

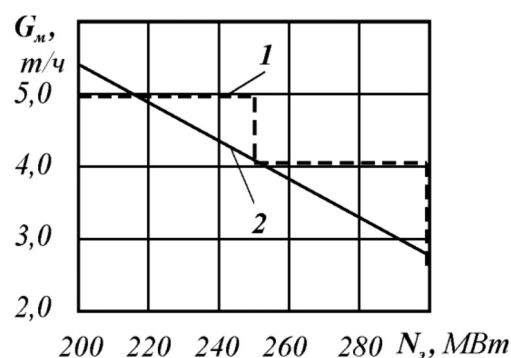


Рис. 2. График изменения расхода мазута при разных способах регулирования ($H_m = -40$ Па; $\alpha_m = 1,20$; $Q_n^p = 20$ МДж/кг; $\alpha_{np} = 7,5\%$):

1 – ступенчатое регулирование (числом работающих форсунок); 2 – минимальный расход мазута, обеспечивающий нормальное жидкое шлакоудаление (путем регулирования изменением давления)

обусловлено увеличением доли сжигаемого мазута в соответствии с режимной картой и ростом влияния подовых мазутных форсунок. Но и здесь прирост «условной реакционной способности твердого топлива» соответствует, как бы «дополнительному расходу мазута» примерно на 1 т/ч на корпус. Таким образом, переход на ПВК_д улучшает процесс горения основного топлива – угольной пыли, как бы повышая «условную реакционную способность пыли» [4].

В таблице приведены результаты испытаний, проведенных на корпусе котла при пониженной нагрузке $N_3 = 225$ МВт, когда

Таблица – Осредненные результаты исследований котла ТПП-210А

Способ подачи пыли	Управление топочным процессом	Содержание горючих, %		q_4 , %	
		в уносе	в шлаке	опыт	расчет
Традиционный пневмотранспорт	Ручное	19,38	0,0	9,30	–
ПВК _д	Дистанционное	18,12	0,0	8,70	8,30
	Автоматическое	16,50	0,0	7,92	7,56

недостатки топочного режима проявляются наиболее сильно. Получены осредненные результаты исследований (по четыре серии опытов в каждом эксперименте) при $Q_n^p = 17,5 \pm 0,5$ МДж/кг, $\alpha_m = 1,3 \pm 0,1$ и расчетные значения потерь с механическим недожогом (q_4) при сниженном расходе мазута на подсветку до величины, допустимой по условиям надежного слива шлака. Из таблицы видно, что снижение q_4 составляет более 1,3%, а за счет корректировки расхода мазута – до 1,6%.

Повышение мощности блока до 300 МВт дает снижение q_4 примерно в 1,25 раза. При этом, по результатам исследований, доля мазута на подсветку (по теплу) может быть снижена с 0,11 (при работе с традиционным пневмотранспортом), до 0,06 (на ПВКд). Это дает возможность поддерживать q_4 на уровне 5,5–6,0%, что соответствует характеристикам топки при работе на расчетном топливе.

По ряду показателей существующая схема сжигания мазута может быть усовершенствована. Для этого необходимо установить на корпусе шесть растопочных форсунок производительностью по 750 кг/ч и регулирование расхода мазута в зависимости от нагрузки осуществлять изменением его давления с учетом качества распыла.

Рекомендуемые мероприятия не связаны с каким-либо дополнительным расходом материальных ресурсов, так как срок службы форсунок невелик и замена их осуществляется в установленном порядке. Расчеты, проведенные на основе данных, полученных в результате исследований, показывают, что экономия мазута на один пылеугольный блок при реализации приведенных рекомендаций составит 30–40 т/сут. Кроме того, введение подсветки на всех горелках улучшит полноту выгора-

ния топлива и позволит снизить среднее эксплуатационное значение α_m , что приводит к снижению концентрации NO_x в дымовых газах [4].

На основании исследований разработан способ автоматического регулирования процесса горения низкорекреационного твердого топлива, обеспечивающий надежный слив шлака и устойчивость факела с сигналом по температуре пода и воздействием на расход мазута, подаваемого на подсветку, подтвержденный авторским свидетельством на изобретение [5].

ВЫВОДЫ

1. Перевод котлов, сжигающих низкорекреационные угли, на технологию пылеподдачи с высокой концентрацией под давлением является эффективным способом повышения качества сжигания пыли при нормальном шлакоудалении.

2. При ПВК_д и существующей схеме подсветки факела мазутом можно уменьшить число растопочных форсунок и расход мазута на 0,5 – 1,0 т/ч с регулированием его, в зависимости от нагрузки, изменением давления мазута без ухудшения режимов жидкого шлакоудаления.

3. Оптимизация подсветки факела в условиях ПВК_д позволяет снизить среднее эксплуатационное значение избытка воздуха в топке, что способствует снижению концентрации NO_x в дымовых газах.

4. Надежный слив шлака и устойчивость пылеугольного факела можно обеспечивать, контролируя уровень температуры над подом топки путем изменения расхода мазута.

1. Шагалова С.Л., Шницер И.Н. Сжигание твердого топлива в топках парогенераторов. Л: Энергия, 1976.
2. Разработка, исследование, внедрение и

опыт эксплуатации системы высококонцентрированной пылеподдачи (под давлением) котлов ТПП-210А Трипольской ТЭС Л.А. Кесова, Н.Н. Черезов, А.В. Георгиев и др. К.: О-во «Знание Украины», 2001. 96 с.

3. Нормы расчета и проектирования пылеприготовительных установок. Под ред. М.Л. Кисельгофа и Н.В. Соколова. М.: «Госэнергоиздат», 1958. 159 с.

4. Оптимизация расхода подсветочного топлива на ТЭС, сжигающих низкорреакционные угли. Л.А. Кесова. Энерготехнологии и Ресурсосбережение. 2014. № 2. С. 14–20.

5. А.с. №918688 СССР. МКИЗ F23 N1/00. Способ автоматического регулирования процесса горения твердого топлива. В.Н. Крыжановский, Л.А. Кесова и др. Оpubл. 07.04.82, Бюл. №13.

Надійшла до редколегії: 25.05.2017