

ПАРОВЫЕ КОТЛЫ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО, ГОРЕЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОТЛОВ

РАСЧЕТ И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ АППАРАТОВ ПАРОВОЙ ОБДУВКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА ПАРОВЫХ КОТЛОВ

© 2022 г. **М. Н. Майданик^а**, **А. Н. Тугов^а** *

^аВсероссийский теплотехнический институт, Автозаводская ул., д. 14, Москва, 115280 Россия

*e-mail: ANTugov@vti.ru

Поступила в редакцию 03.02.2022 г.

После доработки 20.02.2022 г.

Принята к публикации 24.02.2022 г.

Для определения эффективности применения аппаратов обдувки поверхностей нагрева котлов служит обобщенная характеристика динамического воздействия паровой струи – ее динамический напор, зависящий от параметров рабочего агента, типоразмера сопел и схемы расположения аппарата. Показано, что приемлемая эффективность паровой обдувки достигается в том случае, когда по всей области действия струи динамические напоры не ниже необходимых для эффективного удаления золых отложений. Приводится методика расчета расхода пара и динамического напора струй аппаратов паровой обдувки. Экспериментальные исследования и промышленный опыт применения паровой обдувки показали, что при распространении струи в пучках труб наблюдается дополнительное торможение потока, вследствие чего может происходить большее падение динамического напора, чем при свободно распространяющейся струе. Степень (коэффициент) ослабления динамического напора (по отношению к динамическому напору свободной струи) в любой конфигурации пучка зависит главным образом от ширины поперечного зазора между трубами, количества очищаемых от отложений рядов труб по глубине пучка и существенно меньше от относительного продольного шага труб. Показано, что, основываясь на оценках газодинамических параметров и эффективной дальности струй аппаратов паровой обдувки, можно устанавливать рабочие параметры пара и формировать оптимальную компоновку этих аппаратов для очистки поверхностей нагрева. Для разработки систем паровой обдувки предлагается использовать специализированную компьютерную программу, созданную на основе результатов исследований и обобщения многолетнего опыта эксплуатации аппаратов паровой обдувки на отечественных и зарубежных котлах.

Ключевые слова: тепловая электростанция, твердое топливо, котел, поверхность нагрева, трубный пучок, аппараты паровой обдувки, эффективность очистки, динамический напор струи, параметры пара, эрозионный износ

DOI: 10.56304/S0040363622080057

В настоящее время вследствие сокращения и необеспеченности поставок угля на ТЭС, ухудшения его качества, а также предложений по использованию более дешевого угля и ужесточения экологических требований к предприятиям энергетической отрасли возникает необходимость изменения топливного режима тепловых электростанций, работающих на твердом топливе (угле), с переводом их на сжигание альтернативного угля.

Организация изменения топливного режима, предусматривающая сравнительный анализ шлакующих и загрязняющих свойств топлив, описана в [1]. По результатам проведенного в этой работе анализа сделан вывод, что во многих случаях для обеспечения длительной работы котла без его останова на очистку от отложений требуются специально проработанные конструктивные и режимные мероприятия, направленные на предот-

вращение интенсивного загрязнения поверхностей нагрева, в том числе эффективные средства их очистки.

Эксплуатационная (на работающем котле) очистка труб от наружных золых отложений, осуществляемая сверхзвуковыми струями перегретого пара (в исключительных случаях влажного пара со степенью сухости, близкой к единице), наряду с другими конструктивными и режимными мероприятиями, является в большинстве случаев необходимым действием для обеспечения надежной и эффективной работы поверхностей нагрева котлов, сжигающих низкосортные бурые и каменные угли. Эффективность удаления золых отложений в общем случае зависит от степени и вида загрязнения, используемых методов и устройств очистки, режима их работы, а также вида и конфигурации очищаемой поверхности нагрева.

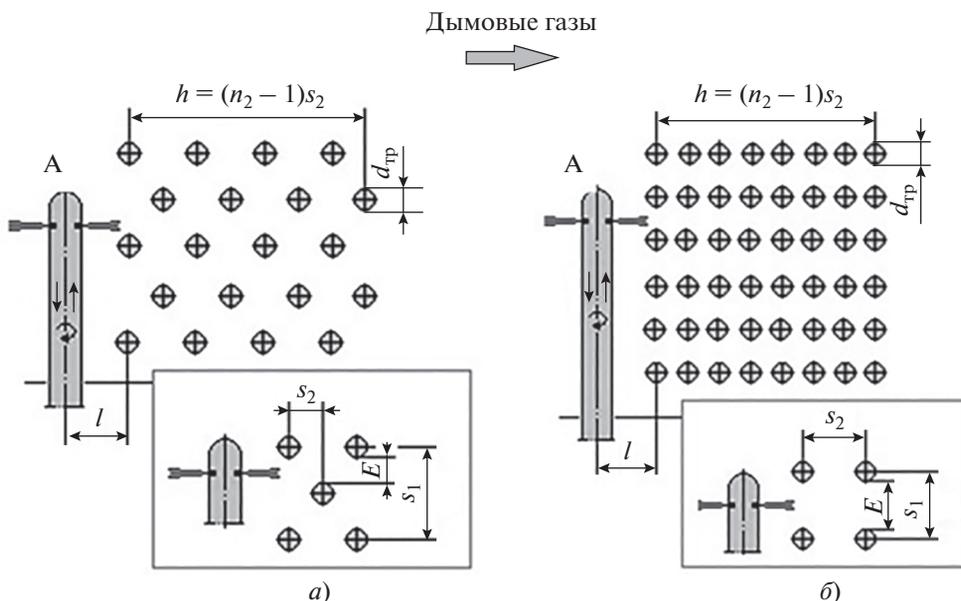


Рис. 1. Принципиальная схема очистки шахматного (а) и коридорного (б) пучков труб глубоководными аппаратами паровой обдувки.

А – аппарат паровой обдувки (обдувочная труба); h – глубина трубного пучка; s_1 – поперечный шаг труб; n_2 – число продольных рядов труб (по ходу газов); s_2 – продольный шаг труб; l – расстояние от аппарата до труб пучка; E – поперечный зазор между трубами; $d_{\text{тр}}$ – наружный диаметр труб пучка

Для очистки полурadiационных (ширмовых) и конвективных поверхностей нагрева (трубных пучков под давлением) от золовых отложений в настоящее время в основном применяются аппараты паровой обдувки (паром среднего и низкого давления). В труднодоступных местах с повышенным загрязнением (обычно для локальной очистки топочных ширм) могут также дополнительно устанавливаться стационарные устройства паровой обдувки (сопла “пушечной” обдувки) с подачей в них пара высокого давления.

В данной статье рассматривается наиболее распространенная обдувка трубных пучков паром среднего и низкого давления, которая осуществляется в большинстве случаев выдвигными (глубоководными), как правило, двухсопловыми аппаратами с винтовым движением сопловой трубы (рис. 1). Требуемая глубина выдвигания обдувочной трубы может составлять 10–12 м и более.

В отдельных случаях (в основном в связи с конкретной компоновкой и конструкцией поверхностей нагрева) могут использоваться следующие виды обдувочных аппаратов:

двух- и многосопловые винтовые с ограниченным линейным перемещением обдувочной трубы;

только с вращательным движением трубы, которая постоянно находится в газоходе (при сравнительно невысокой температуре газов);

глубоководные маятникового типа для осуществления секторной обдувки;

только с линейным перемещением без вращения обдувочной трубы и др.

Конструктивные особенности сопловых головок аппаратов, диаметр обдувочных труб и существующие требования к паровым струям накладывают ограничения на типоразмеры и конфигурацию сопел. Для получения сверхзвуковых паровых струй в аппаратах устанавливаются укороченные сопла с профилем Лавалья с неполным использованием располагаемого теплоперепада.

В аппаратах с перемещаемой сопловой головкой используются главным образом сопла диаметром $d = 10\text{--}40$ мм в узком сечении и относительным диаметром $D_2/d = 1.1\text{--}1.4$ в выходном сечении, где D_2 – диаметр сопла в выходном сечении, мм. Сопла меньшего диаметра могут применяться в многосопловых аппаратах.

Давление пара перед аппаратами с перемещаемой сопловой головкой обычно находится в диапазоне 1–4 МПа (за встроенным клапаном аппарата, перед соплами, принимается меньший диапазон давления пара, как правило, 1–3 МПа). Для повышения эффективности очистки трубных пучков от отложений применение более высокого давления обычно уже не требуется, так как это заметно усложняет конструкцию аппарата (в частности, встроенного клапана), приводит к значительному удорожанию аппарата и всей системы обдувки. Более высокое давление пара (до 10 МПа) используется в стационарных устройствах для паровой “пушечной” обдувки, так как при меньшем давлении

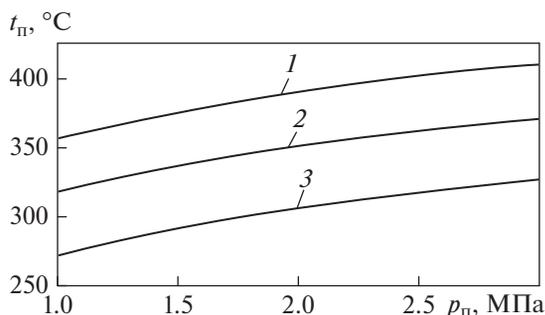


Рис. 2. Зависимость минимальных допустимых значений температуры t_n от давления p_n пара и относительного диаметра сопла в выходном сечении. D_2/d : 1 – 1.40; 2 – 1.25; 3 – 1.10

в большинстве случаев не достигается требуемая эффективность очистки.

При расширении пар в выходном сечении сопла может попасть в область влажного пара, что нарушает требования к формированию паровых струй аппаратов. Это накладывает ограничения на температуру подводимого к аппаратам пара.

Минимальные значения температуры пара перед соплами (за встроенным клапаном аппарата), при которых обеспечивается обдувка струями перегретого пара, в зависимости от давления пара и относительного диаметра сопла в выходном сечении показаны на рис. 2.

Допустимые значения температуры пара не определяются диаметром сопла, но существенно зависят от отношения D_2/d и давления пара. Следует отметить, что при проектировании, независимо от отношения D_2/d , принимают значения температуры пара не ниже 350°C при давлении пара менее 2.0 МПа и не ниже 400°C при давлении свыше 2.5 МПа.

РАСЧЕТ РАСХОДА ПАРА И ДИНАМИЧЕСКОГО НАПОРА СТРУЙ АППАРАТОВ ПАРОВОЙ ОБДУВКИ

С приемлемой для проектных оценок точностью расчетный расход пара через аппарат G , кг/с, который позволяет обеспечить сверхзвуковое течение струи на выходе из него, можно найти по формуле

$$G = 9.2 \times 10^{-4} \varphi n_c K_t p_n d^2,$$

где φ – коэффициент расхода пара через сопла; n_c – число сопел; p_n – давление пара, подаваемого в обдувочный аппарат, МПа; $K_t = 7.67 t_n^{-0.34}$ – поправочный коэффициент на температуру пара t_n , $^\circ\text{C}$.

Кривые расхода пара через двухсопловой аппарат паровой обдувки (при $t_n = 350\text{--}400^\circ\text{C}$) показаны на рис. 3. Наиболее сильно расход пара за-

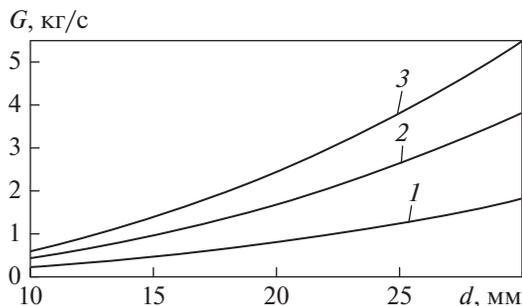


Рис. 3. Зависимость расчетного расхода пара G через двухсопловой аппарат паровой обдувки от диаметра сопла в узком сечении при различных значениях давления пара. p_n , МПа: 1 – 1; 2 – 2; 3 – 3

висит от диаметра сопел (квадратичная зависимость) и давления пара (зависимость близка к линейной), температура же пара оказывает существенно меньшее влияние.

Как уже отмечалось, при использовании аппаратов паровой обдувки очистка от золовых отложений осуществляется преимущественно динамическим (механическим) воздействием на них струй. Отложения золы на трубах, расположенных близко к аппарату (к начальному участку струи), могут подвергаться также термическому воздействию струи, имеющей невысокую температуру после расширения в сопле (примерно $100\text{--}200^\circ\text{C}$ в зависимости от параметров пара и степени его расширения). При обдувке нежестко закрепленных поверхностей нагрева, в особенности ширмовых, может возникать заметная вибрация труб.

Термическое воздействие и вибрация на удаление загрязнения влияют несущественно, поэтому эффективность практического применения аппаратов может определяться одной обобщенной характеристикой динамического (механического) воздействия паровой струи – ее динамическим напором, зависящим от параметров рабочего агента (пара), типоразмера сопел и схемы расположения аппарата.

Для расчета динамического напора свободно распространяющихся струй аппаратов паровой обдувки могут использоваться результаты исследований [2], которые позже были подтверждены экспериментальными данными [3].

В пределах изменения рассматриваемых параметров глубоковыдвижных аппаратов (давления пара перед соплами $p_n = 1\text{--}3$ МПа и $D_2/d = 1.1\text{--}1.4$) динамический напор струи в выходном сечении сопел H_2 (на срезе сопла) может изменяться в широком диапазоне – от 300 до 1230 кПа (рис. 4), скорость пара и длина начального участка струи (где сохраняются параметры пара на срезе сопла) разнятся в значительно меньшей степени – от 820 до 950 м/с и от 260 до 330 мм соответственно.

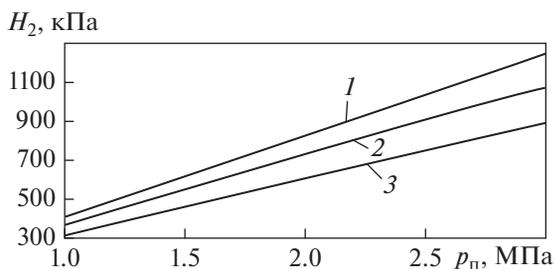


Рис. 4. Зависимость динамического напора паровой струи в выходном сечении сопла от давления пара при различных значениях относительного диаметра сопла в выходном сечении.
 D_2/d : 1 – 1.10; 2 – 1.25; 3 – 1.40

Динамический напор в выходном сечении сопла зависит только от давления пара перед соплами и отношения D_2/d . В этом сечении динамический напор примерно прямо пропорционален давлению пара и обратно пропорционален D_2/d .

По мере удаления от аппарата динамический напор струи резко снижается и по оси свободно распространяющейся паровой струи изменяется обратно пропорционально $(L/D_2)^{2.4}$ [2], где L – расстояние от выходного сечения сопла до расчетной точки струи (радиус действия струи), м. Приемлемая эффективность паровой обдувки достигается в том случае, когда по всей области действия струи обеспечиваются динамические напоры не ниже значений $H_{эф}$, необходимых для эффективного удаления золовых отложений [3]. Основываясь на этом факте и используя результаты исследований распространения обдувочных струй, можно оценить эффективную дальность аппаратов и выбрать их оптимальную компоновку.

Минимально эффективные значения динамического напора струи $H_{эф}$ в основном зависят от вида отложений, марки сжигаемого угля и температуры дымовых газов в пучке (t_r). В таблице приведены минимально эффективные значения $H_{эф}$

(для удаления связанных отложений) по данным [3] и промышленных исследований паровой обдувки. При образовании на трубах сыпучих золовых отложений $H_{эф} = 2–3$ кПа. На конкретных объектах значения $H_{эф}$ могут уточняться в процессе наладки и эксплуатации аппаратов паровой обдувки.

Для свободно распространяющихся струй эффективный радиус действия $R_{эф}^0$ [максимальное расстояние по окружности от глубоководного аппарата (выходного сечения сопла), где сохраняется приемлемая эффективность паровой обдувки] может быть определен по формуле, предназначенной для расчета изменения динамического напора по длине струи. Значение $R_{эф}^0$ определяется при динамическом напоре струи равном $H_{эф}$.

Зависимость $R_{эф}^0$ от давления пара и $H_{эф}$ приведена на рис. 5. Изменение $R_{эф}^0$ почти пропорционально изменению давления пара и обратно пропорционально $H_{эф}$. При увеличении диаметра сопла эффективный радиус действия струи $R_{эф}^0$ также растет, но в меньшей степени (примерно в степени 0.4).

При распространении струи в пучках труб наблюдается дополнительное затормаживание потока, вследствие чего может происходить большее падение динамического напора, чем при свободно распространяющейся струе. На рис. 6 представлена зависимость динамического напора свободной струи от расстояния от аппарата паровой обдувки до пучка, состоящего из 34 продольных рядов труб с поперечным зазором между ними $E = 65$ мм (см. рис. 1). На этом рисунке видно, что, например, при значении динамического напора струи $H_{эф} = 3$ кПа (штриховая линия) эффективная дальность струи сокращается примерно в 1.5 раза (с 2.65 до 1.75 м).

Степень (коэффициент) ослабления динамического напора (по отношению к динамическому напору свободной струи) $K_{эф}$ при любой конфи-

Минимально эффективные значения динамического напора струи пара и средней температуры газов в трубном пучке

Золовые отложения	Минимально эффективные значения динамического напора струи $H_{эф}$, кПа (в числителе)/температура газов в трубном пучке t_r , °C (в знаменателе)			
Плотные (связанные) (как, например, при сжигании бурых углей Канско-Ачинского бассейна)	3/До 650	(3–5)/(650–750)	(5–8)/(750–850)	(8–10)/> 850
Рыхлые (слабосвязанные) (характерные для большинства каменных углей)	3/< 700	(3–5)/(700–800)	5–7/(800–900)	(7–8)/> 900

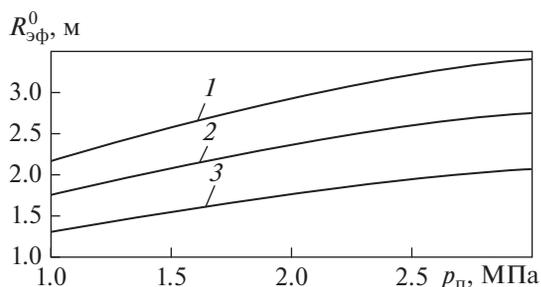


Рис. 5. Зависимость эффективного радиуса действия свободной струи от ее динамического напора и давления пара.

$H_{эф}$, кПа: 1 – 3; 2 – 5; 3 – 10

гурации пучка зависит только от ширины поперечного зазора между трубами E , количества очищаемых рядов труб по глубине пучка, состоящего из $n_{тр}$, и в меньшей степени от относительного продольного шага в трубном пучке $s_2/d_{тр}$, где s_2 — продольный шаг в трубном пучке, мм; $d_{тр}$ — наружный диаметр труб пучка, мм (см. рис. 1). Под $n_{тр}$ понимается число труб, вдоль которых прошла паровая струя, пока ее динамический напор не достиг значения равного $H_{эф}$. В общем случае $n_{тр} < n_2$, если эффективная дальность заторможенной струи меньше глубины пучка (на рис. 6 $n_{тр} = 26$, $n_2 = 34$), и $n_{тр} = n_2$, если она равна глубине пучка или больше нее.

Значения коэффициента ослабления динамического напора $K_{эф}$, полученные при стендовых и промышленных исследованиях [3], представлены на рис. 7 (при $s_2/d_{тр} \geq 1.3$). Коэффициент $K_{эф}$ вы-

числяют при перпендикулярном к трубам пучка положению сопла аппарата (при угле поворота обдувочной струи, равном нулю) как отношение динамических напоров заторможенной и свободной струй. От $K_{эф}$ зависит радиус эффективной дальности заторможенной струи $R_{эф}$ в данной точке.

Для пучков с относительным продольным шагом $s_2/d_{тр} \geq 1.3$ затормаживание потока начинает проявляться при ширине поперечного зазора $E < 200$ мм, а также при количестве рядов труб в пучке $n_{тр} > 3$. В пучках с меньшими значениями $s_2/d_{тр}$ (близкими к единице) влияние затормаживания начинает сказываться при меньшей ширине поперечного зазора (менее 140 мм). В более тесных пучках (с поперечным зазором $E < 50$ мм) падение динамического напора струи наиболее значительно.

РАЗРАБОТКА СХЕМ ПАРОВОЙ ОБДУВКИ

Для свободной струи, в частности при очистке довольно широких ширм, область эффективной очистки представляет собой окружность радиусом $R_{эф}^0$. В то же время при очистке более тесных трубных пучков область эффективной очистки отличается от окружности радиусом, равным радиусу эффективной дальности заторможенной струи $R_{эф}$. При угле поворота сопловой головки $\varphi_i > 0^\circ$ эффективная дальность струи и, следовательно, ширина области эффективной очистки становятся больше $R_{эф}$ и увеличиваются до максимального значения S , м, по первому ряду очищаемых труб пучка в точ-

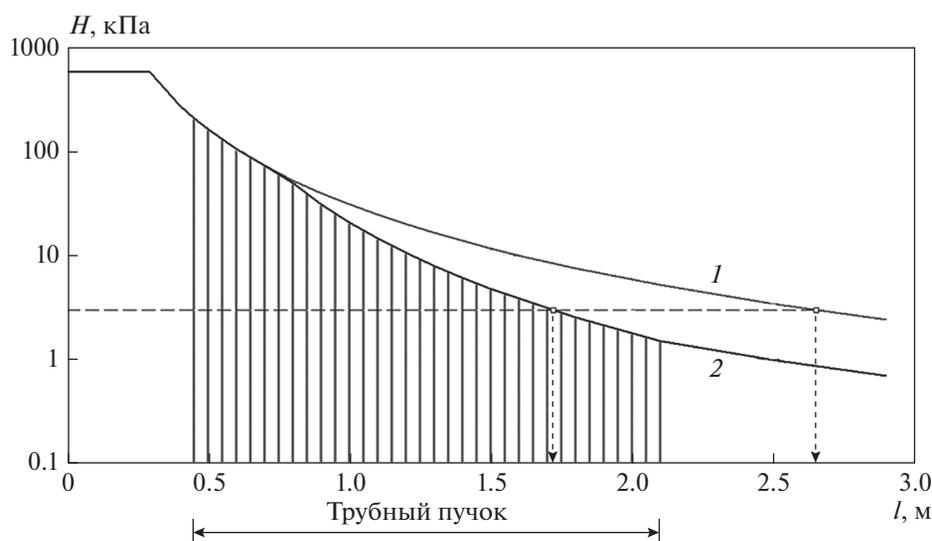


Рис. 6. Зависимость динамического напора паровой струи H от расстояния l от аппарата паровой обдувки до пучка труб (давление пара 1.6 МПа).

1 – свободная струя; 2 – заторможенная струя (в трубном пучке $E = 65$ мм)

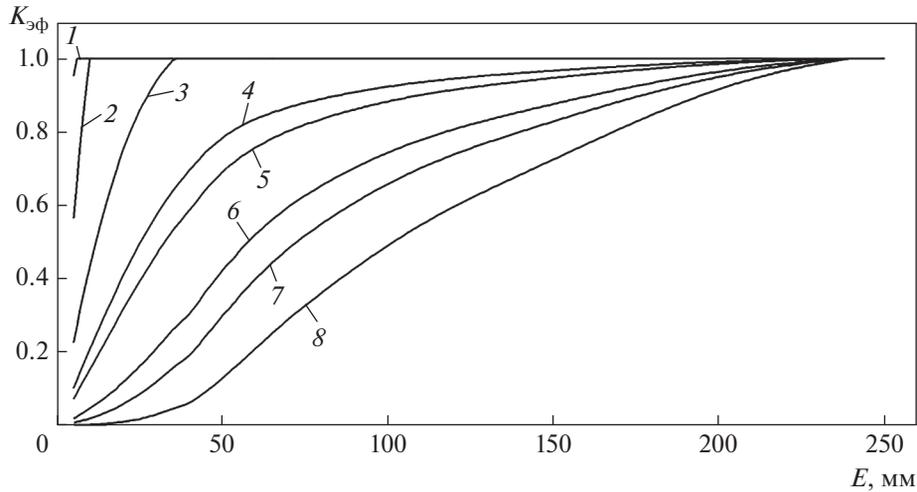


Рис. 7. Зависимость коэффициента ослабления динамического напора в пучках труб (при $s_2/d_{тр} \geq 1.3$) от поперечного зазора между трубами и числа рядов труб в пучке.
 $n_{тр}$: 1 – 3; 2 – 5; 3 – 7; 4 – 9; 5 – 10; 6 – 15; 7 – 20; 8 – 40

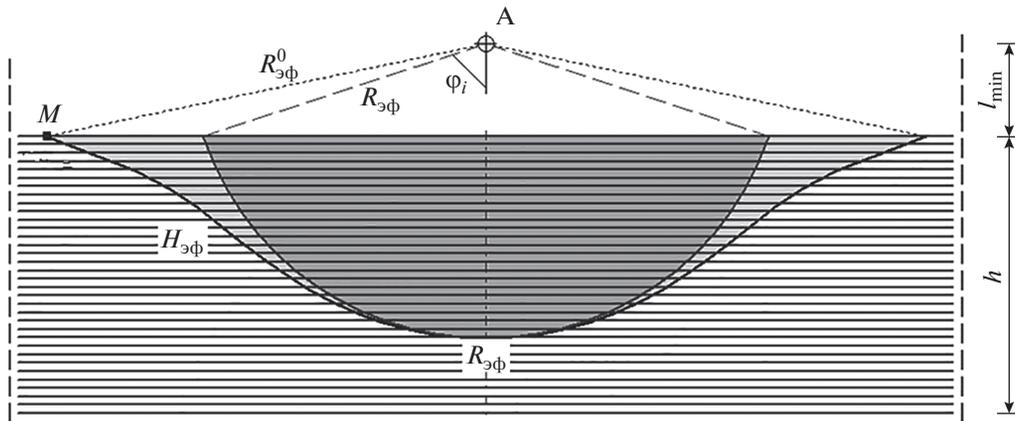


Рис. 8. Расчетная схема очистки поверхностей нагрева аппаратом паровой обдувки.
 А – место расположения обдувочного аппарата; l_{min} – минимальное расстояние от обдувочного аппарата до пучка труб

ке M (рис. 8). Значение максимальной ширины области эффективной обдувки определяется как $S = R_{эф}^0 \cos \left[\arcsin \left(l_{min} / R_{эф}^0 \right) \right]$.

Если для расчета струи в тесном трубном пучке применить схему, предназначенную для определения свободной струи, но с радиусом $R_{эф}$, то либо площадь зоны обдувки будет меньше реальной, либо потребуются большее число аппаратов. Это следует учитывать при формировании расчетной схемы паровой обдувки. Поэтому по области очистки с окружностью радиусом $R_{эф}$ можно осуществлять только предварительную разработку схемы обдувки в тесном трубном пучке, которая должна уточняться при построении окончательной расчетной схемы.

При разработке схемы паровой обдувки трубных пучков необходимо учитывать, что при обдувке основное прямое динамическое воздействие струя оказывает на золовые отложения, образующиеся в проходах между трубами, а эффективность очистки заключается в удалении отложений из зазоров для обеспечения прохода газов. При этом для полноты очистки в цикле обдувки струи должны попасть (и лучше не один раз) в каждый поперечный проход между трубами. Это условие выполняется, если шаг перемещения сопла за один оборот обдувочной трубы не превышает поперечного шага труб s_1 (предпочтительней – ширины поперечного зазора E), а в глубоководных аппаратах производится

смещение траектории струи на полшага в точке реверса обдувочной трубы.

Для разработки систем паровой обдувки в ОАО ВТИ создана специализированная компьютерная программа, с помощью которой можно рассчитать все газодинамические параметры, выполнить анализ влияния различных факторов на эффективность очистки труб от отложений, в интерактивном режиме определять наиболее подходящее расположение, количество и типы аппаратов, конфигурацию и размеры эффективных зон обдувки отдельных аппаратов и общей очищаемой зоны и выбирать оптимальные характеристики аппаратов (типоразмер сопел, частоту вращения, длительность цикла обдувки) и параметры пара (расход, температуру, давление). При разработке программы обобщены результаты исследований обдувки, проведенные в ОАО «ВТИ» и других организациях, а также многолетний опыт эксплуатации аппаратов паровой обдувки на отечественных и зарубежных котлах.

ВЛИЯНИЕ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ НА ПАРАМЕТРЫ ОБДУВОЧНЫХ АППАРАТОВ

По мере удаления от сопла (за пределами начального участка) скорость струи резко падает, несмотря на это, все же может наблюдаться повышенный эрозионный износ труб поверхностей нагрева котлов, в особенности при сжигании многозольных топлив и с абразивной золой. Представительных экспериментальных данных по износу труб при паровой обдувке при сжигании отечественных топлив нет, поэтому при предварительном выборе параметров аппаратов следует ориентироваться на общие рекомендации и уточнять их в процессе эксплуатации конкретного объекта.

При сжигании твердых топлив в большинстве случаев рабочее давление пара принимается не выше 1.6 МПа, для малозольных топлив с невысокой абразивностью золы оно может быть повышено до 3.0 МПа. Для ориентировочных оценок диаметры сопел рекомендуется выбирать в зависимости от значения комплекса

$$A = 2 \times 10^{10} a \mu_{\text{зл}}^0,$$

где a – коэффициент абразивности золы, м²/Н; $\mu_{\text{зл}}^0$ – концентрация золы в дымовых газах, г/м³ (значения a и $\mu_{\text{зл}}^0$ определяются в соответствии с [4]).

Далее приведены рекомендуемые диаметры сопел d , мм, при различных значениях комплекса A :

До 0.5	22–28
0.5–2.0	16–22
Свыше 2.0	12–16

УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПАРОВОЙ ОБДУВКИ

Для эффективного применения паровой обдувки необходимо выполнение следующих условий:

температура дымовых газов на входе в обдуваемый трубный пучок не должна превышать температуру начала шлакования летучей золы;

проведение очистки поверхностей нагрева, в особенности для пароперегревателей, состоящих из сравнительно свободных пучков труб;

использование аппаратов с малыми шагами перемещения сопловой головки (для глубоководных аппаратов);

оптимальная компоновка и число аппаратов (оценка эффективного радиуса действия с максимально полным охватом всей поверхности нагрева очищаемого трубного пучка, последовательная обдувка поверхностей по ходу газов, установка аппаратов перед и за поверхностью для наиболее интенсивно загрязняемых трубных пучков, а также на расстоянии от обдуваемой поверхности, превышающем длину начального участка паровой струи);

выбор оптимальных параметров: типоразмера сопел и давления пара (оценка эффективной дальности струи, расход пара, условия эрозионного износа);

выбор температуры пара (отсутствие влаги в паровой струе в выходном срезе сопла), тщательное и полное дренирование и прогрев трубопроводов подвода пара к аппаратам перед обдувкой и во время ее проведения;

выдерживание выбранного рабочего давления пара для всех нагрузок котла, при которых производится обдувка;

регулярное проведение обдувки с заданной по режимной карте периодичностью.

ВЫВОДЫ

1. Эффективность практического применения аппаратов паровой обдувки определяется одной обобщенной характеристикой динамического воздействия паровой струи – ее динамическим напором, зависящим от параметров пара, типоразмера сопел и схемы расположения аппарата.

2. Приемлемая эффективность паровой обдувки достигается, если в зоне действия аппаратов температура дымовых газов не превышает температуру начала шлакования летучей золы и по всей области действия струи обеспечиваются динамические напоры не ниже значений, которые необходимы для полного удаления золовых отложений.

3. При распространении струи в пучках труб наблюдается дополнительное затормаживание потока, вследствие чего может происходить

большее падение динамического напора, чем при свободно распространяющейся струе. Степень (коэффициент) ослабления динамического напора (по отношению к динамическому напору свободной струи) в любой конфигурации пучка зависит прежде всего от ширины поперечного зазора между трубами, количества очищаемых рядов труб по глубине пучка и в меньшей степени от относительного продольного шага труб.

4. Основываясь на оценках газодинамических параметров и эффективной дальности струй аппаратов паровой обдувки, можно устанавливать рабочие параметры пара и формировать оптимальную их компоновку для очистки поверхностей нагрева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Майданик М.Н., Вербовецкий Э.Х., Тугов А.Н. Предварительная оценка возможности перевода котлов тепловых электростанций на сжигание альтернативного угля // Теплоэнергетика. 2021. № 9. С. 33–42. <https://doi.org/10.1134/S0040363621080051>
2. Дубовский И.Е., Песелев М.П. Исследование и расчет сопловых устройств обдувочных аппаратов // Энергомашиностроение. 1973. № 10. С. 39–42.
3. Майданик М.Н., Васильев В.В., Белов С.Ю. Результаты исследований паровой обдувки поверхностей нагрева котлов // Электрические станции. 1998. № 4. С. 15–16.
4. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). СПб.: НПО ЦКТИ, 1998.

Calculation and Selection of Apparatus' Parameters for Steam Blowing the Heating Surfaces of Steam Boilers

M. N. Maidanik^a and A. N. Tugov^{a, *}

^a All-Russia Thermal Engineering Institute, Moscow, 115280 Russia

*e-mail: ANTugov@vti.ru

Abstract—To determine the effectiveness of the use of apparatuses for blowing heating surfaces of boilers, a generalized characteristic of the dynamic effect of a steam jet is used: its dynamic head, which depends on the parameters of the working agent, nozzle size, and layout of the apparatus. It is shown that an acceptable efficiency of steam blowing is achieved when the dynamic pressures over the entire area of the jet action are not lower than those required for effective removal of ash deposits. A method for calculating the steam flow rate and the dynamic pressure of the jets of steam blowers is given. Experimental studies and industrial experience in the use of steam blowing have shown that additional flow deceleration is observed when a jet propagates in tube bundles, as a result of which a greater drop in dynamic head can occur than with a freely propagating jet. The degree (coefficient) of weakening of the dynamic head (in relation to the dynamic head of the free jet) in any configuration of the bundle depends mainly on the width of the transverse gap between the pipes, the number of rows of pipes cleaned from deposits along the depth of the bundle, and much less on the relative longitudinal step of the pipes. It is shown that, based on estimates of the gas-dynamic parameters and the effective range of jets of steam blowers, it is possible to set the operating parameters of the steam and form the optimal arrangement of these devices for cleaning heating surfaces. To develop steam blowing systems, it is proposed to use a specialized computer program created on the basis of research results and generalization of many years of experience in operating steam blowing devices on domestic and foreign boilers.

Keywords: thermal power plant, solid fuel, boiler, heating surface, tube bundle, steam blowers, cleaning efficiency, dynamic jet pressure, steam parameters, erosive wear