

УДК 621.182.12: 621.311.22

Г.В.Ушаков

ОТЛОЖЕНИЯ НАКИПИ В ВОДОГРЕЙНОМ ОБОРУДОВАНИИ КАК ФАКТОР БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В условиях Кузбасса и всего сибирского региона две трети года забота о снабжении промышленных предприятий и населения теплом и горячей водой ложится на системы теплоснабжения предприятий жилищно-коммунального хозяйства [1].

Требования к промышленной безопасности производственных объектов, в том числе и системам теплоснабжения, определяются нормами в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, санитарно-эпидемиологического благополучия населения, охраны окружающей природной среды, экологической безопасности, пожарной безопасности, охраны труда [2].

В различных отраслях хозяйства эксплуатируются десятки тысяч котлов небольшой тепловой мощности (от 1 до 30 Гкал/ч). В котельных, оборудованных такими котлами, зачастую отсутствуют необходимые условия для организации достаточно сложной водоподготовки и обслуживающий персонал высокой квалификации. При исходной воде с карбонатной жесткостью больше 1–2 ммоль/дм³ на внутренних поверхностях нагрева имеет место образование отложений накипи. Это происходит вследствие протекания термолитиза гидрокарбонатов кальция и магния с образованием малорастворимых в воде карбоната кальция и гидроксида магния.

Отложения накипи создают большое термическое сопротивление тепловому потоку от газов к нагреваемой воде, т.к. их теплопроводность значительно меньше теплопроводности металла. Теплопроводность карбонатной накипи с содержанием $CaCO_3 + Mg(OH)_2 > 50\%$ составляет 0,58–7,0 Вт/(м·°C) [3]. При определенной толщине отложений в экранных трубах котла могут образоваться отдушины и свищи и возникнуть ситуация, связанная с его аварийной остановкой.

В результате, отложения накипи становятся фактором, определяющим промышленную безопасность котельных, не оснащенных установками водоподготовки, и систем горячего водоснабжения с такими котельными, - возникают негативные явления, снижающие эффективность работы систем горячего водоснабжения:

- перегрев металла труб под отложениями накипи выше допустимых пределов;
- ускорение коррозии под отложениями накипи;
- увеличение гидравлического сопротивления тракта котлов и всей системы теплоснабжения;
- увеличение расхода топлива на нагрев воды, а следовательно, увеличение выбросов вредных

веществ в атмосферу с дымовыми газами и объема твердых отходов – золы и шлака, выбрасываемых в золоотвалы.

Удаление накипи с внутренней поверхности труб котла ведется путем его химической очистки, которая проводится при загрязненности 1000 г/м² и более или при увеличении гидравлического сопротивления котла в 1,5 раза по сравнению с гидравлическим сопротивлением чистого котла [3]. Обычно химическая очистка котлов производится в период летней остановки систем теплоснабжения, т.е. не чаще чем раз в отопительный сезон. В течение отопительного сезона котлы эксплуатируются при наличии отложений накипи на внутренних поверхностях водогрейных труб, что ведет к перерасходу топлива и росту вредных выбросов в атмосферу.

Остановимся на некоторых оценках.

Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу при сжигании 1000 тонн твердого топлива

Расчет выбросов в атмосферу твердых частиц летучей золы и недогоревшего топлива с дымовыми газами из водогрейного котла мощностью до 30 Гкал/ч при сжигании твердого топлива выполняется по формуле [4]:

$$\begin{aligned} \Pi_{мс} &= BA^P \chi(1-\eta)/100 = \\ &= 1000 \cdot 15 \cdot 0,0023 \cdot (1-0,9) = 34,5 \text{ т,} \end{aligned}$$

где $B = 1000$ т – расход топлива; A^P – зольность топлива, %; η – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях, определяется по техническим данным применяемых золоуловителей; χ – вспомогательная величина. При сжигании бурых и каменных углей в топках с неподвижной решеткой и ручным забросом топлива $\chi = 0,0023$ [4].

Выброс в атмосферу с дымовыми газами оксидов серы M_{SO_2} оценивают по формуле [4]:

$$\begin{aligned} M_{SO_2} &= 0,02BS^m \left(1 - \eta'_{SO_2}\right) \left(1 - \eta''_{SO_2}\right) \left(1 - \eta^c_{SO_2} \frac{n_c}{n_k}\right) \\ &= 0,02 \cdot 1000 \cdot 1,0 \cdot (1 - 0,1)/100 = 0,18 \text{ т,} \end{aligned}$$

где $S^m = 1,0$ % – содержание серы в топливе; $\eta'_{SO_2} = 0,1$ – доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле; $\eta''_{SO_2} = 0$ – доля оксидов серы, улавливаемых в мокром золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц; $\eta^c_{SO_2} = 0$ – доля оксидов серы, улавливаемых в сероулавли-

вающей установке; n_c, n_k – длительность работы сероулавливающей установки и котла соответственно, ч/год.

Расчет расхода выбросов оксидов азота в пересчете на диоксид (NO_2) осуществляется по формуле [4]:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{NO}_2} &= 0,001 B Q_n^p K_{\text{NO}_2} (1 - \beta) = \\ &= 0,001 \cdot 1000 \cdot 23 \cdot 0,0,15 \cdot 1 = 3,45 \text{ т,} \end{aligned}$$

где $Q_n^p = 23$ МДж/кг – теплота сгорания топлива;

$K_{\text{NO}_2} = 0,15$ – параметр, характеризующий количество оксидов азота, образующихся на ГДж теплоты (кг/ГДж); $\beta = 0$ – коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов оксидов азота в результате применения технических решений.

Расчет выбросов оксида углерода выполняется по формуле:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{CO}} &= 0,001 C_{\text{CO}} B \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) = \\ &= 0,001 \cdot 11,5 \cdot 1000 (1 - 5/100) = 19,93 \text{ т,} \end{aligned}$$

где $q_4 = 5$ – потери теплоты вследствие механической неполноты сгорания топлива; для каменных углей, сжигаемых в камерной топке с твердым шлакоудалением; C_{CO} – выход оксида углерода при сжигании топлива, кг/т:

$$C_{\text{CO}} = q_3 R Q_n^p = 0,5 \cdot 1,0 \cdot 23 = 11,5,$$

здесь $q_3 = 0,5$ – потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива; для каменных углей, сжигаемых в камерной топке с твердым шлакоудалением; R – коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленной наличием в продуктах сгорания оксида углерода; для твердого топлива $R=1$.

Экологический ущерб, наносимый атмосфере выбросами котельной, сжигающей 1000 т угля

Загрязнителями являются летучая зола, оксид серы (SO_2) и оксиды азота (в пересчете на NO_2), поступающие в атмосферу с дымовыми газами из трубы котельной.

Укрупненная оценка ущерба от загрязнения атмосферы производится по формуле [5]:

$$Y_{\text{уд}}^{\text{атм}} = Y_{\text{уд}}^{\text{атм}} \sigma \sum_{i=1}^m f_i M_{\text{пр.}i}^{\text{атм}}$$

где $Y_{\text{уд}}^{\text{атм}}$ – удельный ущерб от выброса в атмосферу условной тонны загрязняющих веществ; $Y_{\text{уд}}^{\text{атм}} = 3,3$ руб./усл.т (в ценах 1990 г.); σ – безразмерный коэффициент, учитывающий относительную опасность загрязнения атмосферного воздуха над территориями различных типов; f_i – безразмерная поправка, учитывающая характер

рассеивания примеси; $M_{\text{пр.}i}^{\text{атм}}$ – приведенная масса годового выброса примеси i -го вида из источника, усл. т/год; m – общее число видов примесей в выбросе.

Значение безразмерного коэффициента σ находят по формуле:

$$\sigma = \frac{1}{S_{\text{ЗАЗ}}} \sum_{j=1}^k S_j \sigma_j$$

где $S_{\text{ЗАЗ}}$ – общая площадь зоны активного загрязнения (ЗАЗ); k – общее число типов территорий, попавших в ЗАЗ; j – тип территории; S_j – площадь загрязненной территории j -го типа; σ_j – коэффициент относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха над территорией j -го типа.

Котельная размещена в городской черте. Высота дымовой трубы принята равной 80 м. Зона активного загрязнения такой градирни имеет форму кольца с внутренним диаметром загрязнения равным $R_{\text{ЗАЗ}}^{\text{внутр}} = 2\varphi H$ и внешним диаметром – $R_{\text{ЗАЗ}}^{\text{внешн.}} = 20\varphi H$.

Здесь φ безразмерная поправка, учитывающая тепловой подъем факела в атмосфере:

$$\varphi = 1 + \Delta T / 75 = 1 + 50 / 75 = 1,67,$$

где ΔT – среднегодовая разность температур в устье дымовой трубы и в атмосфере, °С.

Площадь активного загрязнения:

$$\begin{aligned} S_{\text{ЗАЗ}} &= \pi \left[\left(R_{\text{ЗАЗ}}^{\text{внешн.}} \right)^2 - \left(R_{\text{ЗАЗ}}^{\text{внутр}} \right)^2 \right] = \\ &= 3,14 \left[(20 \cdot 1,67 \cdot 80)^2 - (2 \cdot 1,67 \cdot 80)^2 \right] = \\ &= 22,810 \cdot 10^4 \text{ (м}^2\text{)} = 706,82 \text{ га} \end{aligned}$$

Площадь активного загрязнения не превышает площади промышленного предприятия. Поэтому количество территорий в уравнении безразмерного коэффициента σ равно $j=1$, значение $S_j = S_{\text{ЗАЗ}}$, а коэффициент относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха над территорией промышленного предприятия $\sigma=4$.

Величина поправки f , учитывающая характер рассеивания примеси, составляет для газообразных и мелкодисперсных примесей со скоростью оседания $1 \text{ см/с} \leq U \leq 20 \text{ см/с}$:

$$\begin{aligned} f &= \left(\frac{1000}{60 + \varphi H} \right)^{1/2} \cdot \frac{4}{1 + U} = \\ &= \left(\frac{1000}{60 + 1,67 \cdot 80} \right)^{1/2} \cdot \frac{4}{1 + 3} = 2,27 \end{aligned}$$

где U – среднегодовое значение скорости ветра на уровне флюгера; если скорость ветра неизвестна,

то принимается $U = 3$ м/с; H – высота источника выбросов (охлаждающей градирни), м; φ – безразмерная поправка, учитывающая тепловой подъем факела в атмосфере.

Приведенная масса годового выброса примеси i -го вида (M_i) вычисляется по уравнению:

$$M_{np.i}^{amm} = A_i M_i^{amm}$$

где M_i^{amm} – масса годового выброса, т; A_i (усл. т/т) – показатель относительной агрессивности загрязняющего вещества:

$$A_i = a_i \alpha_i \delta_i \lambda_i \beta_i,$$

где a_i – показатель относительной опасности присутствия примеси в воздухе, вдыхаемом человеком; α_i – поправка, учитывающая накопление примеси и образование вторичных загрязнителей ($\alpha_i = 1 \div 5$); δ_i – поправка, учитывающая воздействие примеси на другие реципиенты, кроме населения ($\delta_i = 1 \div 2$); λ_i – поправка, учитывающая вторичное попадание загрязнителя в атмосферу (для пыли $\lambda_i = 1,2$); β_i – поправка, учитывающая возможность образования более токсичных загрязнителей ($\beta_i = 1 \div 5$).

Поправка a_i вычисляется как:

$$a_i = \left(\frac{60}{ПДК_{с.с.i} \cdot ПДК_{р.з.i}} \right)^{1/2},$$

где $ПДК_{с.с.i}$ – среднесуточная предельно-допустимая концентрация i -го вещества в воздухе населенных пунктов; $ПДК_{р.з.i}$ – предельно-допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества в воздухе рабочей зоны, мг/дм³.

Таблица 1. Показатели относительной опасности a_i для загрязняющих веществ выбрасываемых в атмосферу при сжигании угля

Наименование загрязнителя	$ПДК_{с.с.}$, мг/м ³	$ПДК_{р.з.}$	a_i , усл.т/т
Зола (пыль)	0,02	4	27,39
SO ₂	0,05	10	10,95
NO ₂	0,04	2,0	27,39
CO	3,0	20	1,0

Значения показателя относительной активности a_i представлены в табл. 1, значения поправок α_i , β_i , λ_i , δ_i для загрязняющих веществ выбрасываемых в атмосферу при сжигании угля – в табл. 2. Экологический ущерб, наносимый атмосферному воздуху при сжигании 1000 т угля при-

веден в табл. 3. При отсутствии отложений накипи на внутренних поверхностях водогрейных труб он составляет 146 тыс. руб.

Таблица 2. Показатели для загрязняющих веществ выбрасываемых в атмосферу при сжигании угля

Наименование загрязнителя	α_i	β_i	δ_i	λ_i
Зола (пыль)	2	1	1,2	1
SO ₂	1	1	1,5	1
NO ₂	1	1	1,5	1
CO	1	1	1	1

Таблица 3. Экологический ущерб, наносимый атмосферному воздуху при сжигании 1000 т угля

Наименование загрязнителя	M_i^{amm} , т/год	A_i , усл.т/т	$M_{np.i}^{amm}$, усл.т/год	$У^{amm}$ руб/год
Летучая зола	34,5	65,74	2268,03	135918,50
SO ₂	0,18	16,42	2,96	177,39
NO ₂	3,45	41,08	144,21	8642,22
CO	19,93	1,0	19,93	1194,36
Всего				145932,47

В случае, когда на внутренних поверхностях водогрейных труб отлагается накипь, увеличивается термическое сопротивление тепловому потоку от газов к нагреваемой воде, т.к. их теплопроводность накипи значительно меньше теплопроводности металла. Это приводит к перерасходу топлива и соответственно к увеличению экологического ущерба, наносимого котельными установками атмосфере. Величина перерасхода топлива [4] и экологического ущерба в зависимости от толщины отложений накипи приведены в табл. 4.

Таблица 4. Влияние толщины слоя отложений накипи на расход топлива и экологический ущерб, наносимый атмосфере

Толщина отложений накипи мм	Потери топлива, %	Расход топлива, т	Экологич/ущерб, тыс.руб
0	0	1000	145,93
1,5	15	1150	167,82
3,0	25	1250	182,41
7,0	39	1390	202,84
10,0	50	1500	218,89
13,0	70	1700	248,01

Из табл. 4 следует, что отложения накипи оказывают существенное влияние на расход топлива и увеличивают экологический ущерб наносимый окружающей среде котельными установками не оснащенными установками водоподготовки и с установками водоподготовки, работающими недостаточно эффективно. Поэтому необходимы

разработка и внедрение процессов и аппаратов, позволяющих защитить теплофикационное оборудование в системах теплоснабжения от отложений накипи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ушаков Г.В.* Обеспечение жизнедеятельности поселков и сельских населенных пунктов Кузбасса // Безопасность жизнедеятельности предприятий в угольных регионах: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2000. – С. 193 – 196.
2. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" (с изменениями от 7 августа 2000 г.).
3. *Гужулев Э.П., Шалай В.В., Гриценко В.И., Таран М.А.* Водоподготовка и водно-химические режимы в теплоэнергетике. – Омск: Изд-во ОмГУ, 2005. – 384 с.
4. *Рихтер Л.А., Волков Э.П., Покровский В.Н.* Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов ТЭС. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.
5. *Фридланд С.В., Ряписова Л.В., Стрельцова Н.Р., Зиятдинов Р.Н.* Промышленная экология. Основы инженерных расчетов. – М.: КолосС, 2008. – 176 с.

□ Автор статьи:

Ушаков
Геннадий Викторович
- канд. техн. наук, доц. каф. химической технологии твердого топлива и экологии КузГТУ
Email : ekosys@kuzbass.net