

## ВОПРОСЫ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ТЕПЛООБМЕНА В ГАЗОТРУБНОМ КОТЛЕ

С. В. Теребилов

Омский государственный технический университет,  
Россия, Омск, SergyjXXX@yandex.ru

*Аннотация.* Рассмотрены химический состав и основные причины образования отложений на поверхностях теплообмена в котельных установках. Обозначены отличия при определении скорости образования отложений на поверхностях нагрева водотрубных и жаротрубных котлов.

*Ключевые слова:* образование отложений, поверхность теплообмена, газотрубный котел, щелочноземельные отложения, железооксидные отложения.

## QUESTIONS OF FORMATION OF DEPOSITS ON HEAT EXCHANGE SURFACES IN THE GAS-TUBE BOILER

Sergey Viktorovich Terebilov

Omsk State Technical University,  
Omsk, Russia, SergyjXXX@yandex.ru

*Abstract.* The chemical composition and the main reasons for fouling formation on heat exchange surfaces in boiler installations are considered. Differences at determination of formation fouling speed on surfaces of heating of various boilers are designated.

*Keywords:* fouling, the heat exchange surface, fire-tube boiler, alkaline earth deposits, ferrioxide deposits.

Состав примесей водного теплоносителя зависит от системы подготовки воды, обработки конденсата, присосов в конденсаторе, типа и параметров котла, воднохимического режима и других факторов. Большое разнообразие примесей и условий их существования в пароводяном тракте котла приводит, естественно, к различным по химическому составу и своим характеристикам отложениям. Можно выделить по составу следующие основные группы отложений [1, 2]:

### 1) Железооксидные отложения.

При 100-ой конденсатоочистке и подготовке питательной воды по схеме глубокого обессоливания около половины примесей питательной воды котлов составляют продукты коррозии железа. В составе отложений оксидов железа более 90-95%. При докритическом давлении в котлах по мере увеличения давления и улучшения системы подготовки воды доля железооксидных отложений также растет.

Оксиды железа, поступающие в котловую воду, превращаются в ней в магнетит  $Fe_3O_4$ , который и является основой железооксидных отложений. Другие формы оксидов ( $Fe_2O_3$ ) образуют, в основном, шламовые осадки.

С ростом температуры растворимость магнетита уменьшается, значительная часть оксидов железа находится в дисперсном, а не истинно-растворенном состоянии. Поэтому отложения образуются не только за счет кристаллизации, но и за счет электрокинетических процессов. Дисперсные частицы несут электрический заряд (адсорбция ионов из теплоносителя, диссоциация собственных молекул). Под воздействием электрофоретических сил они осаждаются на поверхности нагрева и образуют отложения.

Скорость образования отложений  $A$ , мг/(см<sup>2</sup>·ч), зависит линейно от концентрации  $C_{Fe}$  мг/кг, и от теплового потока  $q$ , Вт/м<sup>2</sup>, во второй степени:

$$\frac{dg}{d\tau} = A_{Fe} = 5,7 \cdot 10^{-14} C_{Fe} q^2 \quad (1)$$

### 2) Щелочноземельные отложения.

Щелочноземельные отложения состоят из соединений кальция и магния. Эти соединения попадают в питательную воду с присосами в конденсаторе и с добавочной водой. В котловой воде обычно присутствуют:  $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$  и другие соединения. Интенсивное отложение соединений кальция (аналогично и магния) происходит при превышении концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  и анионов произведения растворимости.

Скорость образования отложений Ca и Mg от их концентрации нелинейная, но для оценки можно использовать формулу

$$A_{(\text{Ca}+\text{Mg})} = 1,3 \cdot 10^{-13} C_{(\text{Ca}+\text{Mg})} q^2 \quad (2)$$

### 3) Отложения соединений меди.

Оксиды меди в питательной воде появляются в результате коррозии латунных труб конденсатора, ПНД или деталей насоса, содержащих медь. Уже при концентрации меди порядка 3 мкг/кг происходит интенсивное отложение меди на участках с высокими тепловыми потоками или в местах глубокого упаривания воды. В отложениях присутствует, главным образом, чистая медь. Восстановление ионов меди до чистой меди происходит при их контакте с чистым железом. Процесс этот электрохимический, для его осуществления необходима достаточно высокая разность потенциалов. Поэтому медные отложения образуются в заметных количествах в зоне тепловых потоков выше порогового значения  $q_0 - 200 \text{ кВт/м}^2$ .

Скорость образования отложений меди описывается формулами типа

$$A_{\text{Cu}} = K C_{\text{Cu}}^{1/n} q(q - q_0) \quad (3)$$

Величина  $n = 5,4 - 6,2$ . Скорость  $A_{\text{Cu}}$  мало зависит от концентрации соединений меди в воде.

4) Алюминиевые отложения (алюмосиликатные, силикатные с преобладанием свободной  $\text{SiO}_2$ ). Реальные концентрации кремниевой кислоты в питательной воде изменяются от 10 мкг/кг  $\text{SiO}_2$  при непрерывной длительной эксплуатации до 100 мкг/кг при пуске. Эти величины находятся ниже растворимости, однако кремниевая кислота всегда присутствует в отложениях при высоких давлениях. Возможно, кремниевая кислота способна вступать в различные реакции, например, с оксидами железа с образованием ферросиликатов.

### 5) Отложение легкорастворимых соединений.

В питательной воде паровых котлов могут присутствовать соединения натрия в виде  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Как правило, они появляются в питательной воде после умягчения подпиточной воды при помощи Na-катионирования. Эти соединения обладают большой растворимостью при высоких параметрах, но за счет адсорбции на поверхностях нагрева, за счет химического взаимодействия с отложениями, соединения натрия присутствуют в составе отложившихся веществ.

Интенсивное отложение соединений натрия происходит при глубоком упаривании воды, сопровождающемся концентрированием примеси, в пристеночном слое (при высоком тепловом потоке, малой скорости потока и т. п.) или в потоке теплоносителя в испарительных поверхностях. В этом случае концентрация веществ превышает растворимость, и они кристаллизуются на поверхности трубы или в потоке теплоносителя.

Наибольший вред на работу котлов любых типов наносят отложения солей жесткости  $\text{Ca}_{+2}$  и  $\text{Mg}_{+2}$ , которые дают плотные отложения практически на всех поверхностях нагрева котлов.

На рис. 1 и 2 изображены зависимости скорости образования накипи солей жесткости от плотности теплового потока и от концентрации солей жесткости в котловой воде. Плотность теплового потока является функцией расхода топливовоздушной смеси и геометрических характеристик поверхностей теплообмена, а концентрация солей жесткости в котловой воде определяется эффективностью водоподготовки.

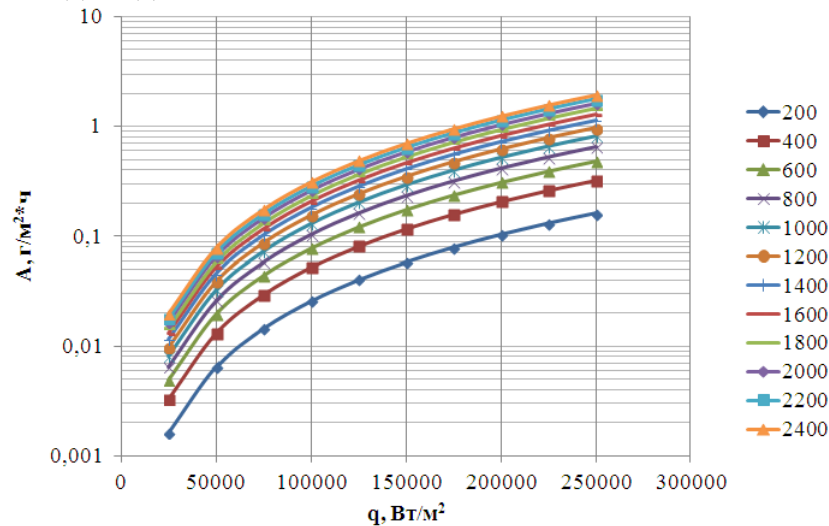


Рис. 1 – Зависимость скорости образования накипи солей жесткости от плотности теплового потока при различных концентрациях в воде (от 200 до 2400 мкг/кг)

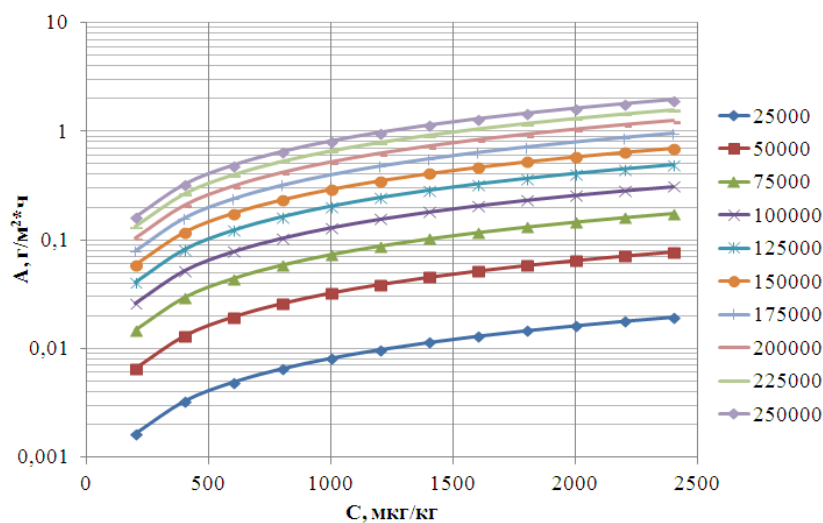


Рис. 2 – Зависимость скорости образования накипи солей жесткости от концентрации в воде при различных плотностях теплового потока (от 25 до 250 кВт/м²)

При применении данных зависимостей для скоростей образования отложений в газотрубных котлах нужно дополнительно учитывать скорость движения котловой воды, которая будет на один-два порядка ниже, чем в водотрубных котлах, а также конструкцию поверхностей теплообмена.

### Библиографический список

1. Липов Ю. М., Третьяков Ю. М. Котельные установки и парогенераторы. Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003. 592 с.
2. Соколов, Б.А. Котельные установки и их эксплуатация. М.: АСАДЕМА, 2005. 432 с.