

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА СТЕПЕНЬ НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ

INFLUENCE OF WATER QUALITY ON THE DEGREE OF SCALE FORMATION

Комарцова Анастасия Васильевна

Тарасенко Надежда Викторовна

Гунько Ирина Владимировна

Преподаватели дисциплин профессионального цикла специальности 08.02.03, 15.02.13

ОГАПОУ «Белгородский строительный колледж», г. Белгород

Аннотация. Определены основные группы накипи, зависящие от химического состава воды. Рассмотрены основные показатели качества воды. Разобран химический состав и свойства воды Белгородской области. Представлены несколько взаимосвязей скорости образования отложений на теплообменных поверхностях от степени концентрации солей. Определено влияние pH рабочей среды на степень образования накипи.

Ключевые слова: накипь, группы накипи, состав воды, жесткость воды, скорость образования отложений.

Накипь – это твердые отложения солей жёсткости на внутренней поверхности теплообмена, состав которых зависит от качества воды.

Накипь по химическому составу классифицируют на четыре группы [1]:

- щелочноземельную;
- сложную силикатную;
- железную;
- медную.

В первую группу входят карбонатные, сульфатные, силикатные, фосфатные накипи с преобладанием до 90% по массе CaCO_3 , CaSO_4 , CaSiO_3 , $5\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ [1].

Карбонатная накипь – CaCO_3 откладывается обычно в форме плотных кристаллических отложений на тех поверхностях нагрева или охлаждения, где отсутствует кипение воды, а среда – нещелочная (водяные экономайзеры, конденсаторы турбин, водоподогреватели, питательные трубопроводы, тепловые сети). Карбонат кальция (CaCO_3) кристаллизуется, в зависимости от технологических режимов, более чем в 40 модификаций, но чаще всего, в виде кальцита и арагонита [2].

В условиях кипения щелочной воды CaCO_3 выпадает в виде шлама.

Во вторую группу входят сложные силикатные накипи, имеющие разнообразный минералогический состав, обусловленный способностью кремниевой кислоты образовывать

накипи не только с катионами кальция и магния, но и с катионами алюминия, железа, натрия и др. Накипи второй группы характеризуются разнообразием структур, от пористых и комковых отложений до твердых и плотных образований, ровным слоем покрывающих металлическую поверхность [3].

В третью группу входят: железофосфатные накипи – NaFePO_4 , $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$; железистоокисные накипи, состоящие в основном из окислов железа Fe_3O_4 70–90% и 5–8% Cu (по массе).

Железофосфатные накипи образуются при повышении содержания фосфатов и железа в воде и при низкой щелочности воды. Эти накипи откладываются на внутренних поверхностях парообразующих труб. Железофосфатные накипи характеризуются как рыхлые накипи [3].

Железистоокисные накипи образуются в зонах, характеризующихся высокими тепловыми нагрузками. Эти накипи откладываются на поверхности труб сплошным слоем, либо отдельными чешуйками, сцементированными друг с другом.

Четвертая группа – медная накипь. Содержит 70–90% металлической меди – Cu . Медная накипь образуется при повышении содержания соединений меди в воде [23]. Эта накипь откладывается в виде слоистых образований.

Основными показателями качества воды являются:

- жесткость;
- pH;
- солесодержание;
- взвешенные вещества.

Главным видом накипи, характерным для Бегородской области является щелочноземельная накипь, а главными накипеобразователями Ca^{2+} Mg^{2+} , определяющими жесткость и образующими в начале гидрокарбонаты, а затем нерастворимые карбонаты этих металлов. Такой вид щелочноземельной накипи называют карбонатным.

Химический анализ водопроводной воды в городе Белгороде приведённый в таблице 1 показал, что концентрация Ca^{2+} и Mg^{2+} составляет 132 и 22 $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$ соответственно, а карбонатная жесткость составляет 6,2 °Ж.

Таблица 1 - Химический состав и свойства водопроводной воды Белгородской области

№ п/п	Название населённого пункта	Жёсткость, ммоль $\cdot \text{л}^{-1}$		Доля Карбонатной жёсткости, %	Концентрация, $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$			Молярное отношение $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$
		Общ.	Карб.		Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	
1	Бирюч	9,0	6,4	71,1	128	32	1,43	2,4
2	Борисовка	7,6	5,8	76,3	116	22	0,67	3,2
3	Валуйки	7,2	6,0	83,3	112	19	0,89	3,5
4	Волоконовка	7,4	6,0	81,1	116	19	1,49	3,7

5	Грайворон	8,8	7,8	88,6	112	39	2,00	1,7
6	Губкин	9,8	6,8	69,4	140	32	0,43	2,6
7	Красное	8,4	7,2	85,7	124	27	1,56	2,7
8	Новый Оскол	7,6	5,4	71,0	116	22	2,16	3,2
9	Прохоровка	5,8	5,6	96,5	104	17	0,47	9,0
10	Ровеньки	11,0	5,2	47,3	156	39	0,77	2,4
11	Строитель	7,8	6,6	84,6	136	12	0,81	6,8
12	Чернянка	8,0	6,8	85,0	124	22	2,28	3,4

Такую концентрацию накипеобразователей можно считать достаточно высокой.

Однако, часть ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} образуют некарбонатную жёсткость, сульфаты и хлориды (CaSO_4 , CaCl_2 , MgSO_4 , MgCl_2) которые не образуют отложений, или образуют их в очень маленьких количествах.

В таблице 1 приведены значения доли карбонатной жёсткости для городов Белгородской области, в среднем это 75%, то есть концентрация гидрокарбонатов кальция и магния, переходящих в нерастворимую форму в виде накипи, достаточно велика.

В работе [1], определена зависимость массовой скорости образования накипи от концентрации гидрокарбонатов кальция и магния, и представлена в виде графика на рисунке 1 [1].

Во многих работах, основным параметром качества воды в расчетных методиках прогнозирования образования отложений является солесодержание. В зависимости от качества воды и технологических параметров, процесс образования отложений может протекать достаточно интенсивно. Так, например, падение коэффициента теплопередачи и стабилизация его на значении 40-60% ниже первоначального может происходить от 2 до 10 часов при общем солесодержании до 4 г/л [2].

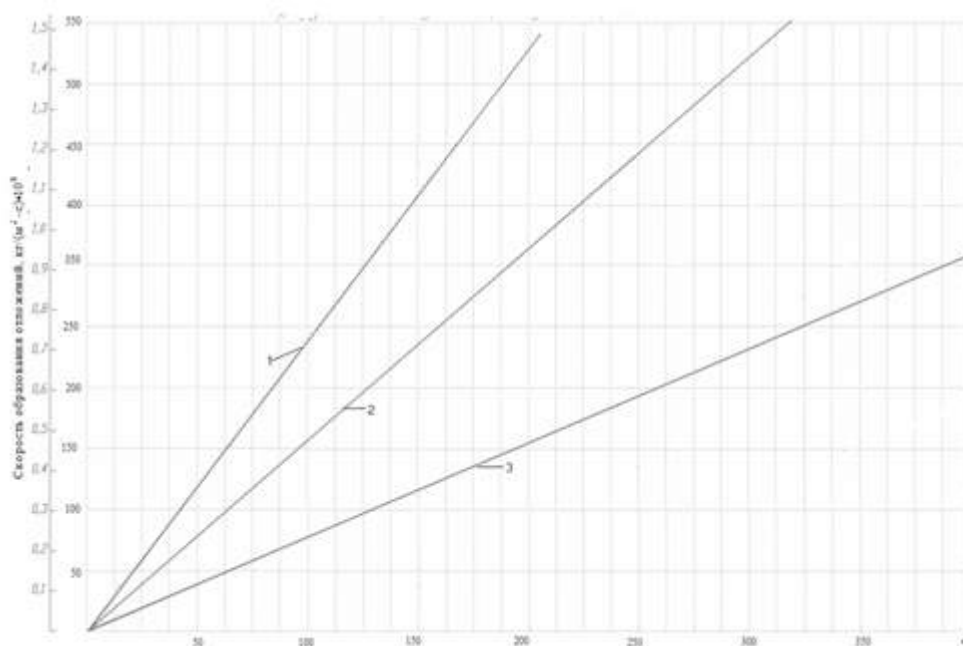


Рисунок 1 – Зависимость массовой скорости образования отложений от концентрации накипеобразователей, 1 – общее количество отложений; 2 – количество отложений CaCO_3 ; 3 – количество отложений MgCO_3 [1]

Некоторыми исследованиями была установлена взаимосвязь (1) скорости образования отложений V_o с концентрацией солей C в потоке жидкости [3]:

$$V_o = \rho_3 \cdot \lambda_3 \cdot K_1 \cdot \left(\frac{C}{\frac{1}{K_p} + \frac{1}{K_R}} - K_d \cdot C_c \right), \quad (1)$$

где ρ_3, λ_3 - соответственно плотность (кг/м^3) и коэффициент

теплопроводности отложений ($\text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$); K_1 - экспериментальная постоянная; C_c - концентрация солей на поверхности раздела (г/л); K_p - коэффициент массопереноса соли в воде; K_R - константа химической реакции поглощения соли поверхностью; K_d - коэффициент массопереноса на поверхности раздела «твердое тело – жидкость».

Эта зависимость учитывает не все факторы, действующие при формировании отложений. Наиболее полно процессы образования отложений отображены в зависимости (2) [4]:

$$V_g = M \cdot P \cdot Re^{-0,82} \cdot \left(\frac{q}{q_{\min}} \right)^{0,64} \cdot \omega \cdot \rho_v \cdot C_o \cdot (1 + 5 \cdot e^{-3 \cdot 10^{-10} \cdot H_o}), \quad (2)$$

где V_g - массовая скорость образования отложений ($\text{кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$); M, P -

экспериментально полученные коэффициенты, которые отображают влияние материала и расположение поверхности теплообмена; $q, q_{\min}$ - текущий и минимальный удельный тепловой поток (кВт/м^2); ω, ρ_v, C_o - скорость (м/с), плотность (кг/м^3) и солесодержание воды (кг/кг) соответственно; H_o - критерий гомотехнологичности, определяется временем работы аппарата.

В работе [2] отмечается, что массовая скорость образования отложений накипи, при существенной разнице условий их формирования, была примерно одинаковой и составила $(8 - 13) \cdot 10^{-9} \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ [2].

Существенное влияние на растворимость в воде углекислого газа (CO_2) оказывает pH среды, который увеличивает временную жесткость воды.

Экспериментальные данные показывают, что скорость накипеобразования увеличивается при понижении pH [5]

Таким образом, на массовую скорость накипеобразования помимо материала и формы теплообменной поверхности, температуры рабочей среды влияет качество рабочей среды, а именно концентрация накипеобразователей. Скорость накипеобразования увеличивается при понижении pH, при увеличении жесткости и температуры рабочей среды.

Список литературы:

1. Бубликов, И. А. Структурные особенности и теплофизические свойства внутритрубных отложений на теплообменных поверхностях в системах технической воды / И. А. Бубликов // Теплоэнергетика. — 1998. — № 2. — С. 30–34.
2. Бубликов, И.А. Исследование процессов образования отложений на теплообменных поверхностях, охлаждаемых технической водой, и разработка методов уменьшения термического сопротивления отложений: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14 / Бубликов Игорь Альбертович. – М., 2002. – 175с.
3. Внутренние отложения на поверхностях нагрева [электронный ресурс] // КлиматЭнергоСтрой ГК. – 2013. – режим доступа: <http://klimatenergostroygk.satom.ru/articles/5423-vnutrennie-otlozheniya-na-poverhnostyah-nagreva/>
4. Гнеденков, С. В., Синебрюхов, С. Л. И др. Влияние покрытий на интенсивность процессов солеотложения [электронный ресурс] // Электронный журнал ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ– 2013. – режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/146.pdf>
5. Головоченко, П. К., Жарков, А . В. и др. Оценка воздействия Ростовской АЭС на окружающую среду / Под общей редакцией Э.Н. Мустафинова. 1992. – 88 с.
6. Гониловский, Б. Ц. Исследование кинетики отложения сульфата кальция на теплообменной поверхности: автореферат дис. ... канд. тех. наук: 05.14.14 / Гониловский Б. Ц. – М., 1963. – 21 с.