

К.Кусаиынов, С.Е.Сакипова, З.К.Айтпаева, Д.А.Оспанова, М.С.Дуйсенбаева

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ НАКИПНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Мақалада жылуалмастыру қондырғылардың бетінде пайда болатын қақ шөгінділерінің дамуы қарастырылған. Қақ шөгінділері ЖЭС мен АЭС пайдаланатын жылуалмастырғыш аппараттарында көп кездеседі. Қақ шөгінділерінің түзілуі жылуалмастырғыш қондырғыларының жылу беру пәрменділігін төмендетеді. Сондықтан жылу энергетика және жылу техника саларында қолданатын қондырғылардағы қақ шөгінділерін жоюдың тиімді жолдарын қарастыру үшін олардың құрылымы мен химиялық құрамы анықталды. Тәжірибелік зерттеу кезінде әр түрлі жағдайда пайда болған қақ шөгінділері қарастырылды. Біріншісі қалалық судан пайда болатын қақ шөгінділері, екіншісі ҚарМУ-дағы «Судайындау» зертханасынан алынған қақ шөгіндісі. Екі жағдайдағы қақ шөгінділерін расторлық электрондық микроскоп көмегімен бірнеше есе үлкейте отырып, олардың құрылымы тұтас түйір түрінде болатынын байқадық. Ал екі жағдайда пайда болатын қақ шөгінділер құрамында оттегінің, көміртегінің және кальцийдің көп мөлшерде болатынын анықталды. Екі жағдайда алынған қақ шөгінділерін салыстыратын болсақ, «Судайындау» зертханасындағы қақ шөгіндіде хлормен қатар көп мөлшерде магний кездеседі. Қалалық судан алынған қақ шөгіндісінде хлор кездеспейді. Зерттеу нәтижелерін қорытындылай келе, жылуэнергетикалық қондырғыларда пайда болатын қақ шөгінділерін жоюдың қолайлы әдістерін анықтауға мүмкіндік беріп туып отыр.

We consider the evolution of growth, structure, thermal properties of various scum-like deposits formed on poverzhnostyah heat exchangers in various conditions. The urgency of the necessity of developing effective ways of disposing of solid scum-like deposits on heat transfer surfaces. Investigations of the microstructure of deposits formed on the inner surface of pipes of heat exchangers, using as a coolant water from the water intake of the city of Karaganda, show that oniv basically have the structure Komkova type. Formed in the structure of deposits voids filled with water, and dissolved in water, gas and water vapor. Composition of scum-like deposits can be regarded as three-way: carbonates, water and steam-gas mixture.

Структурообразование накипных отложений. Согласно современным представлениям накипь и шлам образуются в результате физико-химических процессов, из которых основным является процесс кристаллизации, характеризующийся выделением твердой фазы из многокомпонентных солевых растворов. Выделение твердой фазы из раствора солей при его нагревании и кипячении может происходить различными путями [1–2]. В работе рассматриваются эволюция роста, структура, теплофизические свойства различных накипных отложений, полученных при разных условиях. Актуальность темы обусловлена необходимостью разработки эффективных способов удаления твердых накипных отложений на теплообменных поверхностях.

При длительной эксплуатации на внутренних поверхностях теплообменного оборудования образуются накипные отложения, которые вызывают ухудшение теплопередачи и связанное с ним увеличение пережога топлива; кроме того, при большой толщине накипи происходит также нарушение циркуляции воды. Различные примеси, содержащиеся в нагреваемой и испаряемой воде, как правило, образуют твердую фазу на внутренних поверхностях парогенераторов, испарителей, подогревателей и конденсаторов паровых турбин в виде накипи, а внутри водяной массы — в виде взвешенного шлама [3, 4]. Провести четкую границу между накипью и шламом нельзя, так как вещества, отлагающиеся на поверхности нагрева в форме накипи, могут с течением времени превращаться в шлам и, наоборот, шлам при некоторых условиях может прикипать к поверхностям нагрева, образуя накипь. Из элементов парогенератора загрязнению внутренних поверхностей больше всего подвержены обогреваемые экранные трубы.

Образование отложений на внутренних поверхностях парообразующих труб влечет ухудшение теплопередачи и, как следствие, перегрев и повреждение металла, сопровождающееся появлением трещин и разрывом труб. Наряду с рыхлыми пористыми отложениями, подобными пемзе, встречаются отложения, которые по твердости и прочности связи с металлом напоминают эмаль [3].

Различные примеси, содержащиеся в нагреваемой и испаряемой воде, могут выделяться в твердую фазу на внутренних поверхностях парогенераторов, испарителей, паропреобразователей, подогревателей и конденсаторов паровых турбин в виде накипи, а внутри водяной массы — в виде взве-

шенного шлама. Шлам при некоторых условиях может прикипать к поверхности нагрева, образуя накипь. Эти отложения на поверхностях нагрева бывают весьма разнообразными по химическому составу, структуре, плотности и коэффициенту теплопроводности. На рисунке 1 изображено накипное отложение на поверхности теплообменных труб.

Образующиеся в парогенераторах отложения могут быть по своему химическому составу подразделены на три основные группы:

- 1) щелочноземельные, в группу входят кальциевые и магниевые накипи (карбонатные, сульфатные, силикатные, фосфатные), в составе которых преобладают (до 90 %) CaCO_3 , CaSO_4 , CaSiO_3 , $5\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$;
- 2) железные, в группу входят железоокисные Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , железофосфатные $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$, NaFePO_4 и железосиликатные $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ накипи;
- 3) медные, в группу входят отложения металлической меди и окислы меди CuO , Cu_2O [3].

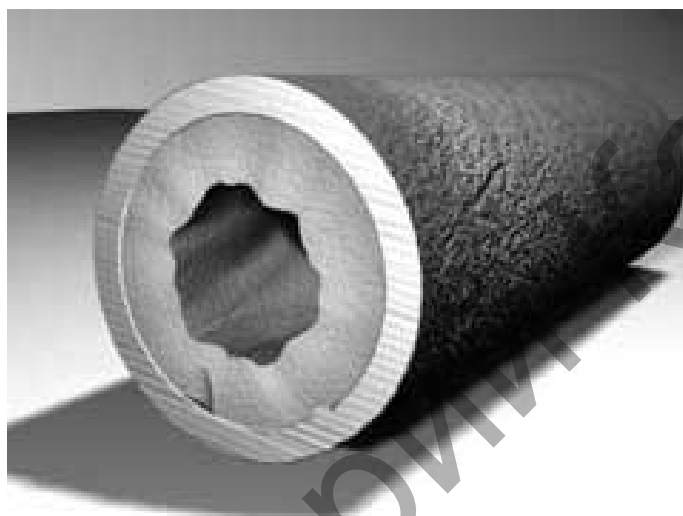


Рис. 1. Накипные отложения на поверхностях теплообменных труб

На внутренней поверхности экранных труб в зонах наибольших температур, с высокими местными тепловыми нагрузками, откладываются в основном железоокисные накипи. Согласно современным представлениям накипь и шлам образуются в результате физико-химических процессов, из которых основным является процесс кристаллизации, характеризующийся выделением твердой фазы из многокомпонентных растворов. Сначала на отдельных участках поверхности металла отлагаются первичные зародышевые кристаллы, которые затем укрупняются и разрастаются. Образование на поверхности металла первичных кристаллов накипи, являющихся связующим звеном между металлической стенкой и слоем твердых отложений, обуславливается наличием шероховатости. Многочисленные бугорки на поверхности представляют собой центры кристаллизации твердой фазы, поверхность нагрева покрывается как бы цементирующей прослойкой. Кинетика роста накипных отложений зависит от вида теплоносителя, характера его движения, материала и рельефности поверхности, условий теплообмена через стенку, но при этом образование слоя накипи всегда начинается с локальных центров кристаллизации. Вероятно, это связано с особенностями образования новой фазы, так как по различным химико-механическим причинам не все частицы из раствора, достигшие поверхности, способны закрепиться на ней. Могут быть участки поверхности с преобладанием сил отталкивания. Дисперсные частички при достижении поверхности могут не закрепиться на ней, при ударе частице передается энергия, которой не хватает для изменения положения частиц на поверхности.

Методика и результаты исследований. Изучение структуры накипных отложений, образованных на теплообменных поверхностях, проводилось с помощью растрового электронного микроскопа Tescan Vega II (рис. 2). Увеличивающие возможности микроскопа составляют от 1 до 10^6 раз. Сканирование проводилось в свете вторичных (SE) и отраженных (BSE) электронов, а также при высоких напряжениях до 20 кВ. Полуколичественный химический состав определялся с помощью энергодисперсионного анализатора INCA. Размер зонда (размер пучка электронов) при сканировании составлял 96,0 нм [1–2].



Рис. 2. Общий вид растрового электронного микроскопа

На растровом электронном микроскопе изучались два вида накипи:

- отложения, полученные из городской воды, — естественные;
- отложения, полученные в лаборатории «Водоподготовки», — искусственные.

На рисунке 3 показаны фотографии отложений, полученных из городской воды.

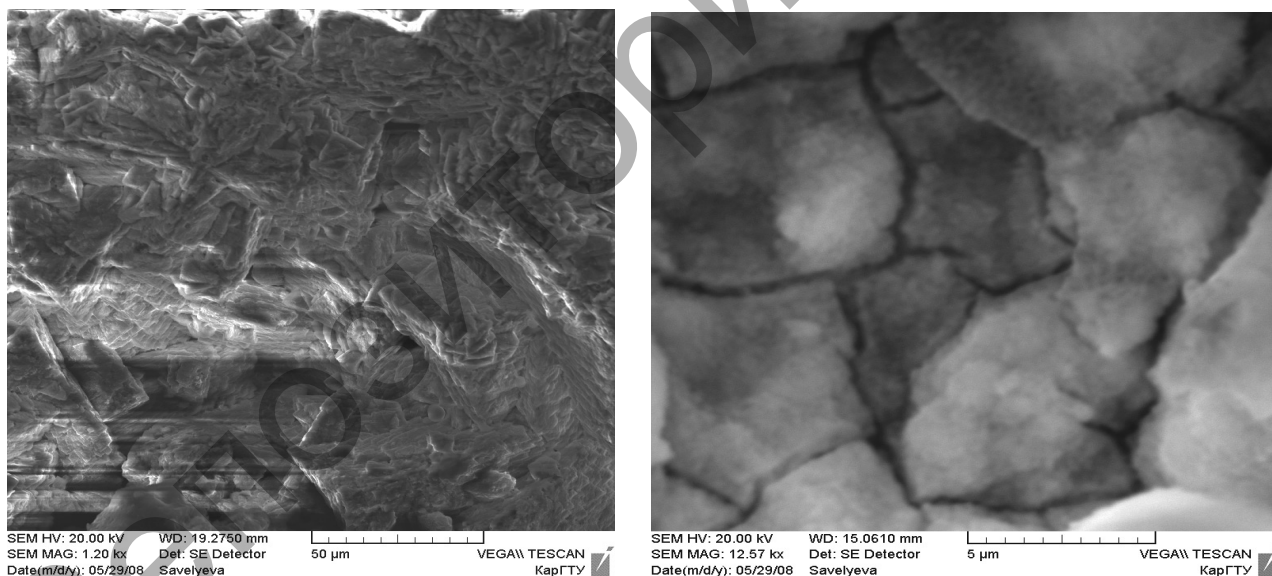


Рис. 3. Фотоизображения отложений, полученных: *а* — в городской воде; *б* — в лаборатории

На рисунке 4 и в таблице 1 представлены результаты спектрально-полуколичественного анализа отложений при увеличении в 2560 раз. Сканирование проводилось в свете отраженных электронов [1].

На рисунке 5 представлены изображения отложений, полученных в городской воде. При малом увеличении (рис. 5 *а*) можно убедиться, что структура отложений имеет комковую структуру, а при увеличении в 360 и более раз (рис. 5 *б*) видно то, что комковая структура постепенно переходит в кристаллическую, в итоге образуется смешанная структура накипи.

На рисунке 5 и в таблице 2 показаны результаты спектрально-полуколичественного анализа твердых накипных отложений при увеличении в 176 раз.

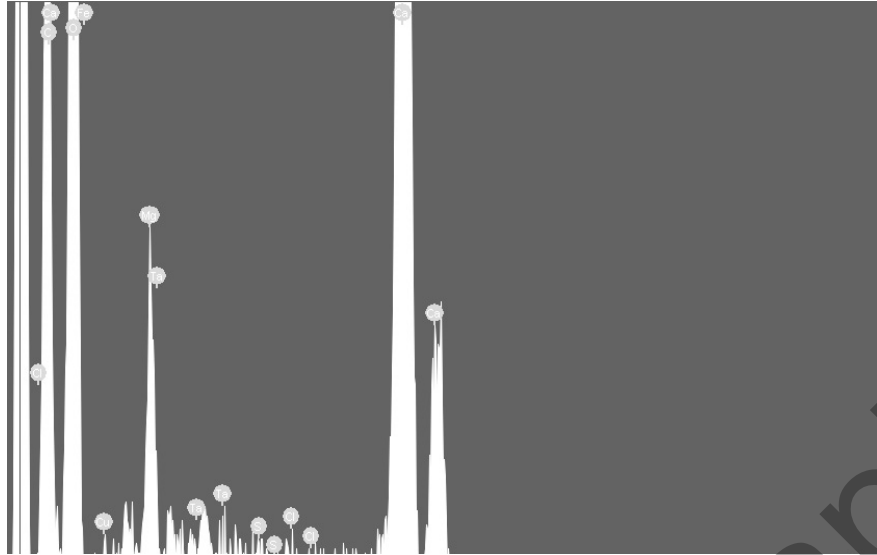
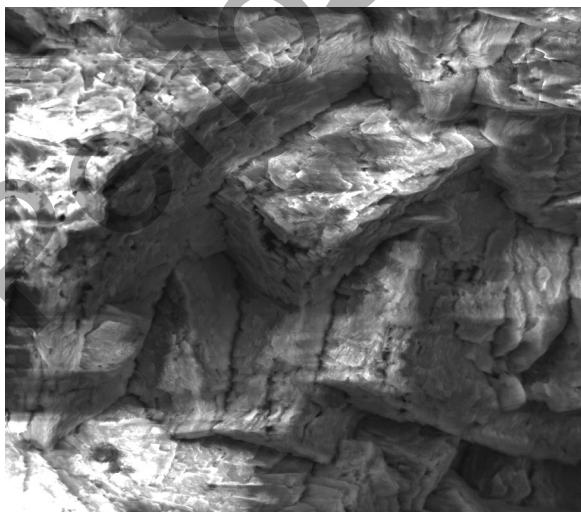


Рис. 4. Спектрально-полуколичественный анализ отложений, полученных из городской воды при увеличении в 2560 раз

Таблица 1

Полуколичественный химический состав отложения при увеличении в 2560 раз

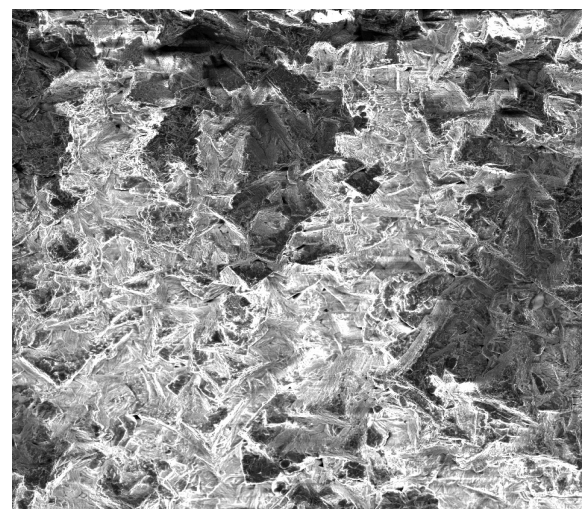
Химический элемент	Элементное количество, %
C	10,13±1,96
O	45,65±1,41
Na	4,32±0,54
Mg	15,41±0,62
Si	1,07±0,16
S	4,25±0,29
Cl	6,17±0,35
Ca	3,98±0,24
Cu	5,35±0,62
Zn	3,68±0,63
U	-0,01±0,49
Итого	100,00



SEM HV: 20.00 kV
SEM MAG: 2.55 kx
Date(m/d/y): 05/29/08
Savelyeva

20 µm

VEGA\\ TESCAN
КапГТУ



SEM HV: 20.00 kV
SEM MAG: 360 x
Date(m/d/y): 05/29/08
Savelyeva

200 µm

VEGA\\ TESCAN
КапГТУ

Рис. 5. Фотоизображения отложений, полученных при различных увеличениях

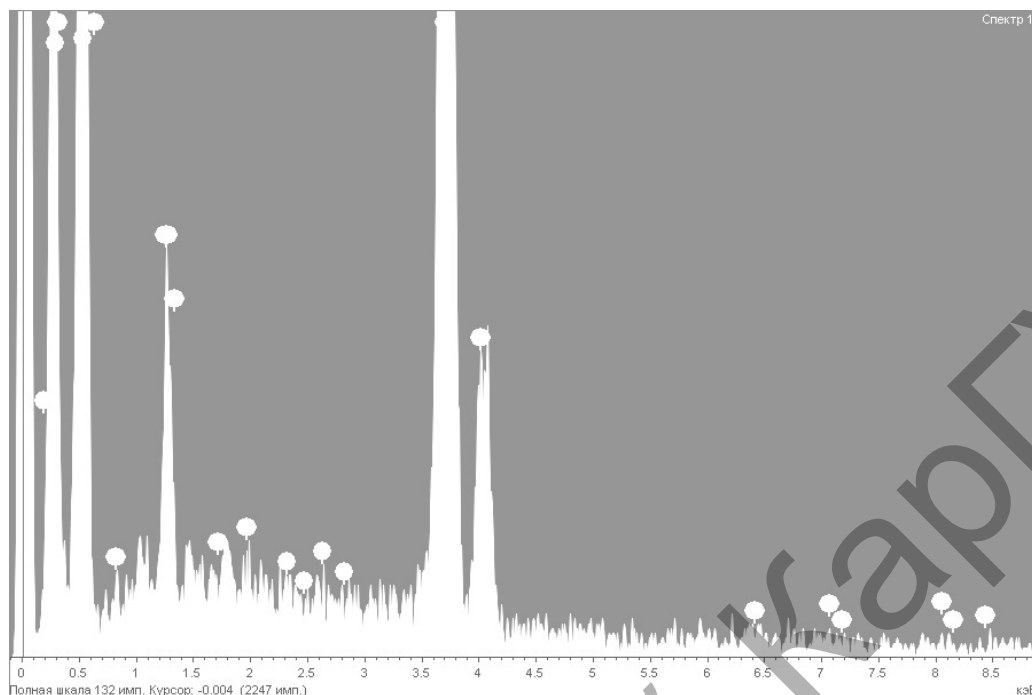


Рис. 6. Спектрально-полуколичественный анализ отложений, полученных в лаборатории «Водо-подготовки» при увеличении в 176 раз

Изображения, представленные на рисунках, получены в результате проведенного анализа в свете сканирования вторичных электронов. Анализируя эти снимки, можно обнаружить, что при малом увеличении поверхность отложений имеет гладкую форму, а при увеличении в 10 000 раз и более структура накипи растрескивается, образуя тем самым кристаллическую структуру [2].

Если сравнить результаты полуколичественного химического составов отложений, полученных в разных условиях, т.е. отложений, полученных в городской воде и в лаборатории, можем убедиться, что в обоих случаях в состав накипи входит углерод, кислород, кальций, но отличает эти отложения то, что в городской воде не присутствует хлор, а в лабораторной, кроме хлора, присутствует еще магний, и в достаточно большом количестве.

Т а б л и ц а 2

Полуколичественный химический состав отложения при увеличении в 176 раз

Химический элемент	Элементное количество, %
C	24,65±1,25
O	56,93±1,24
Mg	2,38±0,23
S	0,14±0,10
Cl	0,00±0,11
Ca	15,38±0,46
Fe	0,40±0,20
Cu	0,10±0,27
Ta	0,01±0,36
Итого	100,00

При исследовании состава отложений были выявлены химические составы накипи образующихся на поверхности нагрева и фотоизображения накипных отложений, полученных из разных районов города; получены результаты полуколичественного химического состава отложения при различных увеличениях.

Таким образом, исследования микроструктуры отложений, образовавшихся на внутренней поверхности труб теплообменников, использующих в качестве теплоносителя воду из водозабора горо-

да Караганды, показали, что для них характерна структура комкового типа [5]. Отложения как бы состоят из чередующихся комков и пор, кристаллы комков имеют в основном ромбовидную форму. Образующиеся в структуре отложений пустоты заполнены водой, а также растворенными в воде газами и водяным паром. Состав накипных отложений можно считать трехкомпонентным: карбонаты, вода и парогазовая смесь. Коэффициент теплопроводности накипи меняется в пределах $1,06 \div 1,22$ Вт/(м·К), с ростом температуры ее теплопроводность увеличивается, но теплопроводные свойства воды и воздуха в порах значительно хуже, чем накипи и металла.

Список литературы

1. *Кусаиынов К., Сакипова С.Е., Бакенов Н.* Эволюция структурообразования накипи на теплообменных поверхностях // Прикладная синергетика в нанотехнологиях: Сб. тр. 5-го междунар. междисциплинарного симпозиума ФиПС-08. — М.: МАТИ, 2008. — С. 191–195.
2. *Бакенов Н.Т.* Закономерности накипеобразования и удаление их в системах теплоснабжения // Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана: Тр. междунар. науч.-практ. конф. / КарГТУ. — Караганда: Изд-во КарГТУ, 2007. — С. 472–474.
3. *Бубликов И.А.* Структурные особенности и теплофизические свойства внутритрубных отложений на теплообменных поверхностях в системах технической воды // Теплоэнергетика. — 1998. — № 2. — С. 30–34.
4. *Манькина Н.Н., Кокотов Б.Л.* К вопросу о механизме накипеобразования // Теплоэнергетика. — 1973. — № 9. — С. 15–17.
5. *Сакипова С.Е.* Исследование структуры накипных отложений на теплообменных поверхностях и технология их разрушения // Вестн. КарГУ. Сер. Физика. — Караганда: Изд-во КарГУ, 2009. — № 1(53). — С. 66–71.