

УДК 621.311.22

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ВЫПАДЕНИЯ КАРБОНАТНОЙ НАКИПИ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ОХЛАЖДЕНИЯ В ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ

ИБРАГИМОВ Г.Ш.

«Азербэнерго» ОАО

Реферат. В статье приведен метод предотвращения выпадения карбонатной накипи на поверхностях охлаждения в теплообменных аппаратах с вводом присадки, ее концентрации в охлаждающей воде и схема установки ввода присадки в охлаждающей воде.

Известно, что образующаяся на поверхностях теплообмена накипь, в основном, карбонатного и сульфатного типа. В первом случае отложения образуются в результате термического распада бикарбонат-ионов, а во втором – вследствие понижения растворимости сульфата кальция с увеличением температуры, а также с повышением концентрации его в растворе. Поскольку, эти накипи выделяются в различных условиях, методы борьбы с ними также отличаются друг от друга.

В низкотемпературных теплообменных аппаратах, с малой степенью упаривания, образование сульфатной накипи, обычно не происходит, выпадение же карбонатной накипи, даже при относительно низких температурах, неизбежно, если не принимать специальных мер.

В настоящее время для обеспечения чистоты поверхности трубок теплообменных аппаратов, в частности конденсаторов, применяют различные методы обработки охлаждающей воды (Л-1). Недостатком этих методов является расход дорогостоящих химических реагентов (серная кислота, неорганический полифосфат, оксиэтилидендифосфановая кислота (ОЭДФК), известь и т.д.) и коррозия оборудования. Из-за большого расхода реагентов, реагентные методы обработки охлаждающей воды в проточной системе охлаждения, не приемлемы.

Выпадение карбонатной накипи на поверхностях теплообменных аппаратов ухудшает охлаждение вторичных продуктов, что приводит к ухудшению технико-экономических показателей процесса. Так, например, выделение карбонатной накипи на поверхностях охлаждения конденсаторных труб, приводящих к ухудшению вакуума в конденсаторах турбин, приводит к значительному перерасходу топлива и ограничению мощности турбин.

Кроме того, образующаяся на поверхностях охлаждения карбонатная накипь интенсифицирует процессы коррозии металла трубок.

Поэтому, для обеспечения чистоты труб теплообменных аппаратов, в том числе конденсаторов, необходима разработка нового метода, без применения химических реагентов.

Для разработки такого метода, автором длительное время проводились наблюдения за образованием отложений на поверхностях конденсаторных труб Азербайджанской и Али-Байрамлинской ТЭС.

На Азербайджанской ТЭС в 1981-1990 годах введено в эксплуатацию 8 энергоблоков мощностью 300 мВт с конденсатором типа 300-КЦС-1, а на Али-Байрамлинской ТЭС в 1962-1968 годах 7 энергоблоков мощностью 150 мВт с конденсатором типа К-150-9115.

Поверхность охлаждения конденсатора типа 300-КЦС-1 составляет 15400 м² (Ø28/26 ; l=8,89 п.м ; n=19600 шт), а типа К-150-9115 – 9115 м² (Ø28/26 ; l=8,85 п.м ; n=11712 шт).

Система охлаждения на обоих ТЭС прямоточная и давление в паровом пространстве составляет 3,43 кПа (кгс/см²).

В качестве охлаждающей воды на Али-Байрамлинской ТЭС применяется Куринская вода в районе г.Али-Байрамлы, а на Азербайджанской ТЭС вода из Мил-Карабахского канала в районе г.Мингечевир. Химический состав воды приведен в таблице 1.

Таблица 1

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Щ	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₃ ²⁻	Взвешенные вещества	Солесодержание
	мг-экв/кг							мг/кг	
	I. «Азербайджанская ТЭС»								
2003	3,64	1,36	1,07	2,4	0,6	2,87	0,2	24	327,3
2004	3,57	1,4	1,05	2,4	0,6	3,0	0,2	26	355
2005	3,59	1,42	1,33	2,45	0,57	3,11	0,2	26,5	320,5
2006	3,5	1,5	1,0	2,4	0,57	2,9	0,2	25,8	311
	II. «Али-Байрамлинская ТЭС»								
2003	3,0	3,6	3,81	3,6	2,45	4,45	0,51	762,5	621
2004	2,95	4,07	2,16	3,2	1,55	3,92	0,51	623,45	517
2005	2,05	4,71	2,74	3,1	2,12	3,74	0,5	695,2	598
2006	1,9	4,4	2,3	3,5	1,62	3,0	0,51	636	549

Наблюдение за образованием отложений на поверхностях конденсаторных трубок показали, что со дня введения в эксплуатацию энергоблоков на Али-Байрамлинской ТЭС, химическая очистка конденсаторных трубок не производилась, когда на Азербайджанской ТЭС неоднократно производилась очистка конденсаторных трубок ингибированной соляной кислотой, методом разработанным автором (Л-2).

По мнению автора причиной отсутствия отложений на поверхностях конденсаторных трубок на Али-Байрамлинской ТЭС является наличие взвешенных веществ в охлаждающей воде. (см. таблица № 1) В паводковый период эта величина достигает 1000-1500 мг/л.

Это объясняется тем, что под действием температуры в результате распада бикарбонат-ионов, образовавшиеся зародыши карбоната кальция, одновременно осаждаются на поверхностях конденсаторных трубок и на поверхностях частиц взвешенных веществ, которые уносятся с охлаждающей водой. Поскольку, поверхность частиц взвешенных веществ в несколько тысяч раз больше, чем поверхность конденсаторных трубок, основная часть зародышей карбоната кальция осаждаются на поверхностях взвешенных веществ и уносятся с охлаждающей водой, а часть зародышей карбоната кальция осевших на поверхностях трубок смывается охлаждающей водой. Под действием этих двух факторов на поверхностях конденсаторных трубок на Али-Байрамлинской ТЭС карбонатная накипь не образуется.

Автором при изучении декарбонизации морской воды термическим методом, установлено, что при наличии, присадки карбоната кальция в кипящей воде резко увеличивается скорость распада бикарбонат-ионов и осаждение образовавшегося карбоната кальция, то есть частицы карбоната кальция выполняют роль поверхности осаждения новых образующихся зародышей карбоната кальция (Л-3).

В настоящее время в нефтяной и химической промышленности, а так же на тепловых электрических станциях, для охлаждения различных продуктов, широко применяются теплообменные аппараты, где в качестве охлаждающих агентов применяется сырая пресная или морская вода. Поэтому, в короткий срок на поверхностях охлаждения образуются карбонатной накипи. Особенно, это заметно при использовании воды Каспийского моря в качестве охлаждающей воды.

На основе выше изложенного, автором предлагается новый метод предотвращения образования карбонатной накипи на поверхностях охлаждения теплообменных аппаратов, принципиальная схема которых, показана на рис.1.

На входе в теплообменный аппарат (1) в охлаждающую воду, насосом (9) вводят присадку (карбонат кальция, песок, ил и т.д.) и сброс охлаждающей воды осуществляется через воздухоотделитель (5) в осветлителя (2), где присадка отделяется от воды, а осветленная вода сбрасывается в дренаж или собирается в бак осветленной воды (3) и насосом (7) подается в градире (4).

При прямой системе охлаждения задвижки 11 и 13 закрываются, а 14 и 12 открываются и насос циркуляционного прямой системы охлаждения (10) включается в работу, т.е. обратная система сбросных вод исключается из схемы.

Первоначальное количество присадок определяется с учетом его концентрации в охлаждающей воде 0,5-1 грамм/литр и вводится в начале пуска циркуляционного.

В дальнейшем присадку заменяют продувочной водой осветлителя. С этой целью продувочная вода осветлителя с насосом (9) вводится в охлаждающую воду на входе в теплообменник.

Как видно из рисунка, основным узлом установки является осветлитель, который широко применяется на водоподготовительных установках, но в рассмотренных условиях, режим работы осветлителя резко отличается от режима работы осветлителя водоподготовительных установок.

В составе шлама осветлителя водоподготовительных установок, кроме CaCO_3 ($\gamma = 1,26 \text{ г/см}^3$) имеется Mg(OH)_2 ($\gamma = 1,0026 \text{ г/см}^3$). Доля последнего, зависит от содержания Mg^{+2} в исходной воде. С увеличением содержания Mg^{+2} в исходной воде, увеличивается доля Mg(OH)_2 в составе шлама и уменьшается

подъемная скорость воды в осветлителе. Так, например, при $\text{Ж}_{\text{Mg}} \leq 0,25 \text{ Ж}_0$ подъемной скорости воды в центральной части осветлителя составляет 3,5 мм/сек, а при $\text{Ж}_{\text{Mg}} \leq 0,5 \text{ Ж}_0$ - 2,5 мм/сек. [Л-4]

В рассмотренных условиях, в составе шлама, Mg(OH)_2 полностью отсутствует, поскольку при 40-70⁰С в результате термического распада HCO_3^- , Mg(OH)_2 не образуется.

Поэтому, для конструктивного расчета и определения производительности предложенного осветлителя, подъемная скорость воды в центральной и выходной части, принятая для осветлителя водоподготовительных установок, не приемлема. Для осветления охлаждающей воды от шлама состоящей в основном частиц CaCO_3 автором предложено новая конструкция осветлителя, принципиальная схема которого также показано на рис.1

Принцип работы предложенного осветлителя: Вода после охладителя (1) через воздухоотделитель (5) поступает в основную часть воронки диффузора (6), в которой накапливается присадка и где происходит частично осветление воды. Полное осветление происходит в верхней части, т.е. в осветлительной части осветлителя. Избыток присадки переливается через края воронки в кольцевое пространство между последней и корпусом осветлителя, откуда в основную часть повторно насосом (9) вводится в охлаждающую воду перед охладителем, а избыток удаляется с продувкой.

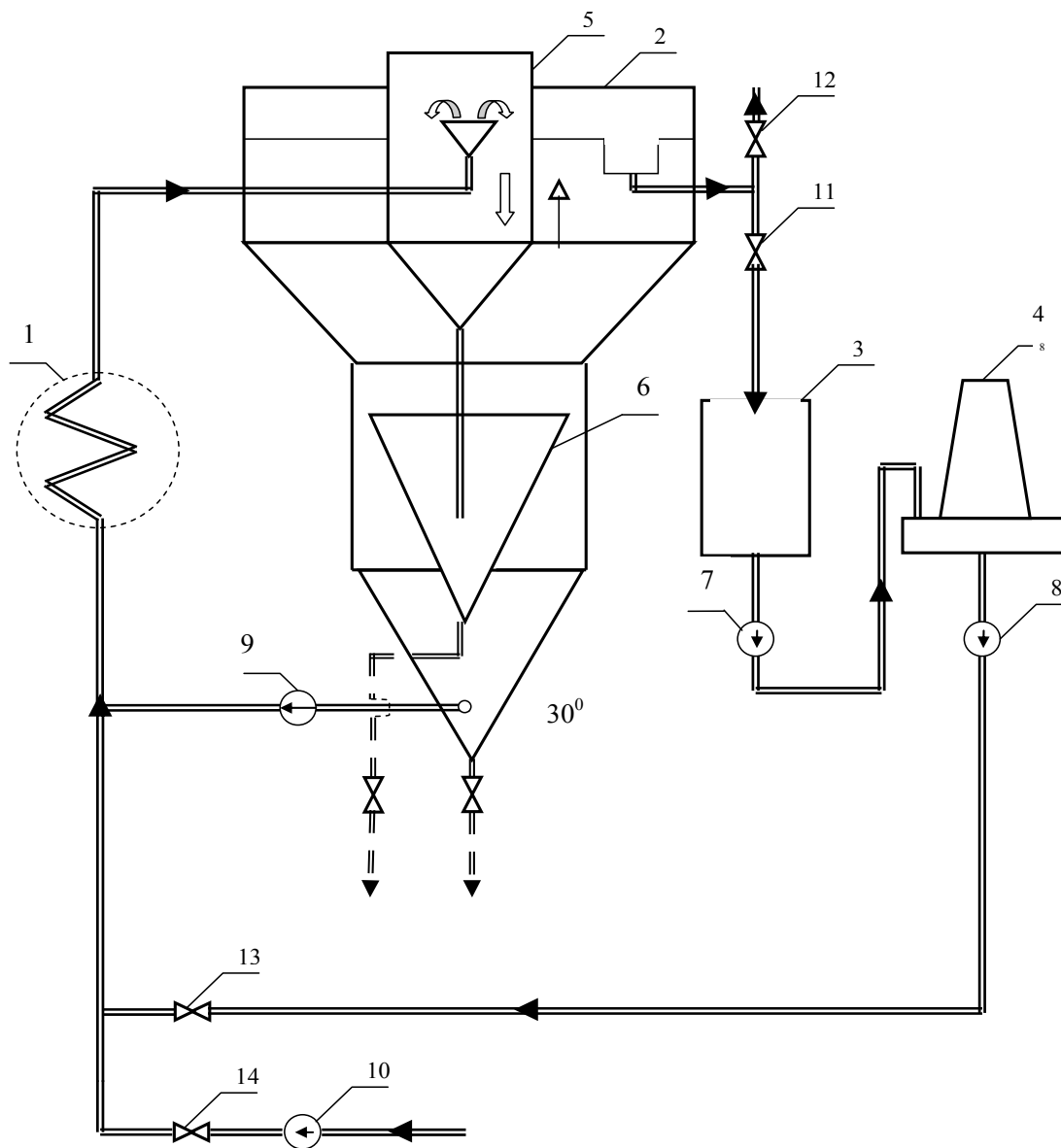


Рис.1 Принципиальная схема ввода присадки в охлаждающую воду теплообменных аппаратов.

1. Охладитель 2. Осветлитель 3. Бак осветленной воды
4. Градиры 7, 8, 9, 10. Насосы 11, 12, 13, 14. Задвижки
5. Воздухоотделитель 6. Диффузор

Высоту диффузора можно принять 1500-1600мм , а верхний диаметр 70-75% диаметра центральной части осветлителя. Высота центральной части осветлителя над диффузором можно принять 1000-1200 мм. Диаметр центральной части осветлителя зависит от скорости осаждения частиц в этой зоне. Для выполнения конструктивных расчетов и определения производительности предложенного режима работы осветлителя (шлам состоит только из CaCO_3) необходимо было определить подъемную скорость воды в центральной и выходной части осветлителя.

Подъемная скорость воды в центральной части осветлителя, в 2 раза больше , чем в выходной части осветлителя (Л-4).

В осветлителях процесс осаждения частиц, т.е. осветление, в основном, происходит в центральной части.

Подъемная скорость воды в центральной части осветлителя, может быть определена следующими методиками: известно, что скорость осаждения шарообразных частиц в воде, определяется по формуле:

$$U_0 = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{g}{\lambda} \frac{\gamma_r - \gamma_b}{\gamma_b} \cdot d} \quad (1)$$

где, γ_r – удельный вес частиц, кг/м³

для CaCO₃ $\gamma_r = 1260$ кг/м³

γ_b – удельный вес воды, кг/м³

d – диаметр частиц, м

g – ускорение силы тяжести, м/сан²

λ – коэффициент сопротивления, зависит от числа Рейнольдса ($Re = V d : \mu$)

Для рассматриваемых условий ($Re < 5$) λ приблизительно линейно увеличивается с уменьшением числа Рейнольдса. Следовательно, в этом интервале скорость осаждения шарообразных частиц является линейной функцией вязкости воды и практически зависит только от температуры.

При температуре воды 10⁰С и 50⁰С, кинетическая вязкость воды соответственно равна $1,306 \cdot 10^{-6}$ и $0,556 \cdot 10^{-6}$ м²/сек (Л-6)

При $d_1 = 100$ мк и $t = 10^0$ С, $U_1 = 10$ мм/сек (Л-7)

$$Re_1 = U_1 \cdot d_1 : \mu_1 = 10 \cdot 10^{-3} \times 100 \cdot 10^{-6} : 1,306 \cdot 10^{-6} = 0,7657$$

Принимая температуру охлаждающей воды на выходе теплообменника 50⁰С и диаметре частиц присадки карбоната кальция равном 50 мк (Л-3,8) определяем Re_2 :

$$Re_2 = U_2 \cdot d_2 : \mu_2 = U_2 \cdot 50 \cdot 10^{-6} : 0,556 \cdot 10^{-6} = U_2 : 0,0111$$

Из написанного выше уравнения следует, что значение Re для двух рассматриваемых случаев будет приблизительно одинаково, т.е.

$$Re_1 = Re_2$$

$$0,7657 = U_2 : 0,0111$$

$$U_2 = 0,7657 \times 0,0111 = 0,0085 \text{ м/сек} = 30,6 \text{ м/час}$$

В практике скорость осаждения всегда отличается от значения "U₂" , подсчитанная по этой методике, вследствие теплового движения частиц, их неправильной формы и гидратации, объединения их в агрегаты. Поэтому, истинная скорость осаждения определяется по формуле: (Л-5)

$$U = U_2 (1 - C_0)^n \quad (2)$$

где C_0 - объемная концентрация взвеси, доли единицы ;

n - показатель степени, зависящий от числа Рейнольдса и формы частиц.

При значениях $C_0 \leq 0,15$, для практических расчетов рекомендовано уравнение (Л-5)

$$U = U_2^0 (1 - 3,5C_0)$$

Известно, что осадок, образующийся при умягчении известью воды, с преимущественно кольцевой жесткости за 2-3 часа уплотнения концентрация шлама составляет 60-70 кг/м³. (Л-7)

Учитывая, что размер новообразовавшихся частиц карбоната кальция намного меньше частиц вводимого в качестве присадок карбоната кальция, в рассматриваемых условиях за короткий срок взвешенный слой еще больше будет уплотняться. Для расчета с запасом принимаем $C_0 = 0,07$.

При $C_0 = 0,07$, истинная скорость осаждения частиц, т.е. подъемная скорость воды в центральной части осветлителя

$$U = 30,6(1 - 3,5 \cdot 0,07) = 23 \text{ м/час}$$

Таким образом, для определения производительности и выполнения конструктивного расчета осветлителя, применяемого для осветления охлаждающей воды, подъемную скорость воды в центральной части осветлителя можно принять за 20-25 м/час, а в выходной части в два раза меньше, т.е. 10-12,5 м/час. Скорость воды в других частях осветлителя, в частности в трубопроводах подвода и отвода воды и воздухоотделителе можно принять такой же, как для осветлителя водоподготовительных установок.

Выводы

1. Для предотвращения образования карбонатной накипи на поверхностях охлаждения теплообменных аппаратов, разработана схема ввода присадки (карбонат кальция, песок и др) в охлаждающую воду и ее осветление после теплообменников;
2. Предложена новая конструкция осветлителя и для ее конструктивного расчета определен основной параметр - подъемная скорость воды в центральной и осветлительной части, соответственно 20-25 м/час и не менее 15 м/час;
3. Определена концентрация присадки в охлаждающей воде карбоната кальция в размере 0,5 - 1 мг/литр.

-
1. Методические указания по предотвращению образования минеральных и органических отложений в конденсаторах турбин и их очистки. Москва, 1989.
 2. İbrahimov H.Ş. "Zəif sirkulyasiya" üsulu ilə kondensator borularının ingibirli xlorid turşusu məhlulu ilə yuyulması. Bakı ş. Energetikanın problemləri, №1-2, 2006.
 3. Макинский И.З., Ибрагимов Г.Ш., Абдуллаев К.М., Симонов П.П. Использование влияния CaCO_3 на остаточную карбонатную жесткость воды Каспийского моря при ее нагревании и кипении. Опыт эксплуатации теплосилового оборудования в системе Азэнерго. Издательство «Энергия», Москва, 1970.
 4. В.Ф.Вихрев, М.С.Шкроб, Водоподготовка, Москва, «Энергия», 1973.
 5. Е.Д.Бабенков. Очистка воды коагулянтами, Москва, Издательство «Наука» 1977.
 6. М.А.Михеев, И.М.Михеева. Основы теплопередачи, Москва, «Энергия», 1977.
 7. М.С.Шкроб и Ф.Г.Прохоров, Водоподготовка и водный режим паротурбинных электростанций. Госэнергоиздат, 1963.
 8. К.М.Абдуллаев, С.Ə.Şahmarov, А.С.Əlizadə, М.М.Аğamalıyev, İstilik energetikasında suyun kimyəvi və fiziki üsulla emalı, "Maarif" nəşriyyatı, Bakı-1998.

**İSTILIK MÜBADİLƏ APPARATLARININ SOYUTMA SƏTHLƏRİNDƏ
KARBONAT XARAKTERLİ ƏRPİN ƏMƏLƏ GƏLMƏSİNİN QARŞISININ
ALINMASI**

İBRAHİMOV H.Ş.

Məqalədə istilik mübadilə aparatlarının soyutma səthlərində karbonat xarakterli ərpin əmələ gəlməsinin qarşısını almaq üçün soyuducu suya aşqarların vurulması, aşqarların xarakter və miqdarı və həmçinin soyuducu suya aşqarın vurulması və atılan soyuducu suyu aşqarlardan təmizləmə sxemi verilmişdir.

**PREVENTION OF CARBONATE SCALE
ON THE COOLING SURFACE OF THE HEAT EXCHANGERS**

IBRAHIMOV H. Sh.

A method for prevention of carbonate scale on the cooling surface of heat exchangers by insertion of additives is described in this article. This article also brings a concentration of the additives and principal scheme of plant for inserting the additives into the cooling water.