

**УДК 628. 543**

С. И. ЭПШТЕЙН, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, **А. И. КОНДРАТЕНКО**, младший научный сотрудник, **Л. Н. КУЗНЕЦОВА**, заместитель директора ПИ «Энергосталь», **Я. А. ЧЕПРАКОВА**, младший научный сотрудник
УкрГНТЦ «Энергосталь»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕНДЕНЦИИ К ОБРАЗОВАНИЮ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ОБОРОТНЫХ СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В работе рассматриваются различные критерии оценки склонности воды к образованию карбонатных отложений. Предложено в качестве наиболее обоснованного показателя использовать известный критерий DFI:

$$DFI = \frac{[Ca^{2+}][CO_3^{2-}] \cdot f_{Ca} \cdot f_{CO_3}}{S_{CaCO_3}},$$

где: S_{CaCO_3} – произведение растворимости $CaCO_3$, но принимать в качестве $[Ca^{2+}]$ и $[CO_3^{2-}]$ концентрации только свободных ионов Ca^{2+} и CO_3^{2-} , а не общие их концентрации, определяемые при химическом анализе воды. Получена система уравнений для определения концентраций свободных ионов.

оборотные системы, плотные солевые отложения, индекс Ланжелье, индекс Ризнера, свободные ионы, комплексообразование, система уравнений для свободных ионов

Образование плотных солевых отложений в оборотных системах водоснабжения в значительной мере осложняет эксплуатацию и приводит к преждевременному выходу из строя охлаждаемого оборудования. Однако образование отложений создает не только технические, но и экологические проблемы, т. к. стремление к снижению интенсивности образования отложений влечет за собой попытки увеличения продувки системы, т. е. сброс воды из оборотного цикла в водоем и увеличение потребления свежей воды.

Для борьбы с образованием плотных солевых (чаще всего карбонатных) отложений необходимо прежде всего правильно оценить тенденцию к их образованию.

Склонность к образованию карбонатных отложений предложено оценивать индексами Ланжелье и Ризнера [1, 2]. При оценке по индексу Ланжелье определяется значение pH_z воды для состояния равновесия, т. е. предельного насыщения воды ионами Ca^{2+} и CO_3^{2-} , и сравнивается с действительным значением pH. Индексом Ланжелье называется величина:

$$J_L = pH - pH_s \quad (1)$$

Если $J > 0$, то имеется тенденция к образованию карбонатных отложений.

Величина pH_s зависит от щелочности воды, солесодержания, температуры и содержания кальция. Для вычисления индекса Ланжелье составлены специальные номограммы.

Введение величины J_L теоретически обосновывается, исходя из уравнений уголекислотного равновесия. Однако недостаток этого обоснования в том, что в конечном итоге величина J_L ставится в зависимость только от общего солесодержания в мг/дм³, в то время как важную роль играет то, какими ионами (одно-, двух- или трехвалентными), и в какой степени это солесодержание определяется.

Предложено также оценивать стабильность воды по индексу Ризнера [2]:

$$J_R = 2pH_s - pH \quad (2)$$

Однако формула (2) является эмпирической и практически не используется.

В работе [3] предложена также эмпирическая зависимость для определения склонности воды к образованию карбонатных отложений:

$$I = \frac{25 \cdot h_1 \cdot h_2 \cdot h_3 \cdot h_4}{h_5} \quad (3)$$

где h_1 – временной коэффициент;
 h_2 – температурный коэффициент;
 h_3 – коэффициент, учитывающий влияние начальной жесткости воды;
 h_4 – коэффициент, учитывающий соотношение постоянной и временной жесткости;
 h_5 – коэффициент, учитывающий интенсивность осветления воды.

В работе приводятся зависимости для каждого коэффициента.

Как и всякая эмпирическая формула, зависимость (3) является справедливой в области тех значений исходных данных, при которых проводились экспериментальные исследования. Кроме того, такой вид зависимости никак не может быть объяснен на основе фундаментальных законов химической кинетики.

Более обоснованным критерием для оценки тенденции к образованию карбонатных отложений представляется величина DFI [4]:

$$DFI = \frac{(Ca^{2+})(CO_3^{2-})}{S_{CaCO_3} \cdot 24 \cdot 10^6} \quad (4)$$

где (Ca^{2+}) и (CO_3^{2-}) – концентрации соответствующих ионов в мг/дм³;

S_{CaCO_3} – произведение растворимости $CaCO_3$ (концентрационная константа).

Выражение для DFI можно записать в виде:

$$DFI = \frac{[Ca^{2+}][CO_3^{2-}] \cdot f_{Ca} \cdot f_{CO_3}}{S_{CaCO_3}} \quad (5)$$

где $[Ca^{2+}]$ и $[CO_3^{2-}]$ – концентрации ионов в моль/дм³;
 f_{Ca} и f_{CO_3} – коэффициенты активности ионов кальция и карбонат-ионов;

S_{CaCO_3} – произведение растворимости $CaCO_3$ (термодинамическая константа, значение которой обычно приводится в [5]).

Физический смысл выражения (5) следующий. Если рассматривать рост слоя карбонатных отложений как реакцию второго порядка и принять, что она определяется кинетическими факторами (имеется ввиду, что диффузионные процессы протекают достаточно быстро и не влияют на скорость реакции), то выражение (5) – это отношение произведения действующих активностей ионов к произведению активностей $(S_{CaCO_3} = f_{Ca} \cdot f_{CO_3} \cdot [Ca^{2+}]_p [CO_3^{2-}]_p)$ ионов, находящихся в концентрациях $([Ca^{2+}]_p [CO_3^{2-}]_p)$, соответствующих равновесному состоянию, при котором раствор насыщен, но не пересыщен (т. е. рост отложений еще не наблюдается).

Однако необходимо отметить, что в выражение (5) должны входить концентрации свободных ионов. В то же время известно, что часть ионов связывается в комплексы (в частности, недиссоциированные молекулы либо более сложные ионы, например, $CaHCO_3^+$, $CaOH^+$, $NaSO_4^-$) [5, 6]. Поэтому при использовании критерия (5) для оценки тенденции к росту карбонатных отложений необходимо вначале определить концентрации свободных ионов Ca^{2+} и CO_3^{2-} .

Равновесие между комплексом и составляющими его ионами (катионами В и А) описывается уравнением [5]:

$$f_{B_m A_n} \cdot [B_m A_n] = \beta \cdot [B_m A_{n-1}] \cdot [A] \cdot f_{B_m A_{n-1}} \cdot f_A \quad (6)$$

где: $[B_m A_n]$, $[B_m A_{n-1}]$, $[A]$ – концентрации самого комплекса и составляющих его ионов;

$f_{B_m A_n}$, $f_{B_m A_{n-1}}$, f_A – коэффициенты активности ионов.

В этом уравнении β – константа устойчивости комплекса.

Для ионов Ca^{2+} и HCO_3^- можно записать:

$$f_1 \cdot [CaHCO_3^+] = \beta_1 [Ca^{2+}] \cdot [HCO_3^-] \cdot f_2 \cdot f_1 \quad (7)$$

или



$$a_{\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2^-} = \beta_1 \cdot a_{\text{Ca}^{2+}} \cdot a_{\text{HCO}_3^-} \cdot \beta_1 = 18,19,$$

где: a_i – активность ионов, указанных в индексе (например, $a_{\text{Ca}^{2+}}$ – активность ионов кальция).

Здесь для упрощения дальнейшего изложения принято, что коэффициенты активности всех одновалентных ионов f_1 , равны так же, как и коэффициент активности всех двухвалентных ионов f_2 .

Аналогичные выражения можно получить почти для всех ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-}), которые обычно преобладают в природных водах и в водах условно-чистых оборотных циклов. (Заметим, что ионы K^+ не образуют комплексов с бикарбонат- и карбонат-ионами, а указанные выше катионы не образуют комплексов с хлор-ионами Cl^-).

$$[\text{CaCO}_3]_k = \beta_2 \cdot a_{\text{Ca}^{2+}} \cdot a_{\text{CO}_3^{2-}}; \beta_2 = 1585 \quad (8)$$

$$a_{\text{MgHCO}_3^+} = \beta_3 \cdot a_{\text{Mg}^{2+}} \cdot a_{\text{HCO}_3^-}; \beta_3 = 14,45 \quad (9)$$

$$[\text{MgCO}_3]_k = \beta_4 \cdot a_{\text{Mg}^{2+}} \cdot a_{\text{CO}_3^{2-}}; \beta_4 = 2512 \quad (10)$$

$$[\text{NaHCO}_3]_k = \beta_5 \cdot a_{\text{Na}^+} \cdot a_{\text{HCO}_3^-}; \beta_5 = 0,562 \quad (11)$$

$$a_{\text{NaCO}_3^-} = \beta_6 \cdot a_{\text{Mg}^{2+}} \cdot a_{\text{HCO}_3^-}; \beta_6 = 18,62 \quad (12)$$

$$[\text{CaSO}_4]_k = \beta_7 \cdot a_{\text{Ca}^{2+}} \cdot a_{\text{SO}_4^{2-}}; \beta_7 = 204 \quad (13)$$

$$[\text{MgSO}_4]_k = \beta_8 \cdot a_{\text{Mg}^{2+}} \cdot a_{\text{SO}_4^{2-}}; \beta_8 = 229 \quad (14)$$

$$a_{\text{NaSO}_4^-} = \beta_9 \cdot a_{\text{Na}^+} \cdot a_{\text{SO}_4^{2-}}; \beta_9 = 5,25 \quad (15)$$

$$a_{\text{KSO}_4^-} = \beta_{10} \cdot a_{\text{K}^+} \cdot a_{\text{SO}_4^{2-}}; \beta_{10} = 9,12 \quad (16)$$

$$a_{\text{Ca}(\text{OH})^+} = \beta_{11} \cdot a_{\text{Ca}^{2+}} \cdot a_{\text{OH}^-}; \beta_{11} = 28,8 \quad (17)$$

$$[\text{Ca}(\text{OH})_2]_k = \beta_{12} \cdot a_{\text{Ca}^{2+}} \cdot a_{\text{OH}^-}^2; \beta_{12} = 10^{11} * \quad (18)$$

$$a_{\text{Mg}(\text{OH})^+} = \beta_{13} \cdot a_{\text{Mg}^{2+}} \cdot a_{\text{OH}^-}; \beta_{13} = 398 \quad (19)$$

$$[\text{Mg}(\text{OH})_2]_k = \beta_{14} \cdot a_{\text{Mg}^{2+}} \cdot a_{\text{OH}^-}^2; \beta_{14} = ? * \quad (20)$$

В левой части равенства (7–20) приведена концентрация вещества, находящегося в воде в виде комплекса, что в ряде случаев обозначено индексом «к». Концентрация свободных ионов обозначена общепринятым образом без индексов. Например:

$$[\text{Ca}^{2+}], [\text{SO}_4^{2-}], [\text{HCO}_3^-] \text{ и т. д.}$$

* Приведенное в справочной литературе [5] β_{12} вызывает сомнение, а значение β_{14} не приводится. По нашим данным, $\beta_{12} \approx 2 \cdot 10^8$, $\beta_{14} \approx 1,6 \cdot 10^6$.

Приведенные выше константы даны в справочной литературе при $\mu=0$, т. е. при коэффициенте активности $f=1$. Следовательно, это термодинамические константы [7].

В выражениях (7–17, 19) концентрации катионов и анионов, связанных в один комплекс, равны между собой, и равны концентрации этого комплекса. Например, из уравнения (7) следует:

$$[\text{CaHCO}_3^+]_{k1} = [\text{Ca}^{2+}]_{k1} = [\text{HCO}_3^-]_{k1} = \beta_1 \cdot f_2 \cdot [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{HCO}_3^-]; \quad (21)$$

$$[\text{CaCO}_3]_{k2} = [\text{Ca}^{2+}]_{k2} = [\text{CO}_3^{2-}]_{k2} = \beta_2 \cdot f_2^2 \cdot [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}], \quad (22)$$

где цифровой индекс в равенстве (21, 22) соответствует индексу β в уравнениях (7–20).

$$\text{В выражениях (18, 20) } [M5(\text{OH})_2]_k = [Me]_k = 0,5 \cdot [\text{OH}^-]_k.$$

Выражения (21, 22) содержат, по сути, по два уравнения, которые дополняют соответственно уравнения (7, 8). Таким образом, к 14-ти уравнениям (7–20) добавляется еще 28 уравнений типа (21) или (22).

Наконец, сумма всех ионов какого-либо вида, как свободных, так и входящих в комплексы, равна общему содержанию этого иона в воде, которое определено аналитически. Например:

$$[\text{Ca}]_{\text{SO}_4} + [\text{Ca}]_{\text{HCO}_3} + [\text{Ca}]_{\text{CO}_3} + [\text{Ca}]_{\text{CaOH}^+} + [\text{Ca}]_{\text{Ca}(\text{OH})_2} + [\text{Ca}] = [\text{Ca}]_{\text{общ}} \quad (23)$$

где $[\text{Ca}]$ – концентрация свободных ионов; $[\text{Ca}]_{\text{SO}_4}$, $[\text{Ca}]_{\text{HCO}_3}$, $[\text{Ca}]_{\text{CO}_3}$ – концентрация кальция, образующего комплексы с соответствующими ионами, SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} ; $[\text{Ca}]_{\text{CaOH}^+}$, $[\text{Ca}]_{\text{Ca}(\text{OH})_2}$ – концентрация кальция, входящего в комплексы $\text{Ca}(\text{OH})^+$ и в недиссоциированные молекулы $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Индекс «общ» обозначает общее количество вещества, определенное аналитически.

Такие же уравнения могут быть составлены и для ионов $[\text{Mg}^{2+}]$, $[\text{Na}^+]$, $[\text{SO}_4^{2-}]$, $[\text{HCO}_3^-]$, $[\text{CO}_3^{2-}]$, т. е. тех, которые преобладают в природных водах и большей части промышленных вод.

В дальнейшем изложении в целях некоторого сокращения в ряде случаев знак заряда иона не указывается (например, вместо CO_3^{2-} , OH^- , Ca^{2+} пишем CO_3 , OH , Ca . Кроме того, вместо $[\text{H}] \cdot f_1$ пишем просто $[\text{H}]$).

Рассмотрим уравнение (23) более подробно. Выражения для слагаемых $[\text{Ca}]_{\text{CO}_3}$ и $[\text{Ca}]_{\text{HCO}_3}$ даны в уравнениях (21, 22). Получим выражения для других слагаемых, входящих в левую часть уравнения (23):

$$f_1 \cdot [\text{CaOH}^+] = \beta_{11} \cdot f_2 \cdot [\text{Ca}] \cdot f_1 \cdot [\text{OH}] \quad (17),$$

откуда

$$[\text{CaOH}^+]_k = \beta_{11} \cdot f_2 \cdot [\text{Ca}] \cdot [\text{OH}] = [\text{Ca}]_{\text{CaOH}^+} \quad (24)$$

$$[\text{Ca}(\text{OH})_2]_k = \beta_{12} \cdot f_2 \cdot [\text{Ca}] \cdot f_1 \cdot [\text{OH}]^2 = [\text{Ca}]_{\text{Ca}(\text{OH})_2}; \quad (25)$$

$$[\text{CaSO}_4]_k = \beta_7 \cdot f_2 \cdot [\text{Ca}] \cdot f_2 \cdot [\text{SO}_4] = [\text{Ca}]_{\text{SO}_4} = [\text{SO}_4]_{\text{Ca}}, \quad (26)$$

где $[\text{Ca}]_{\text{SO}_4} = [\text{SO}_4]_{\text{Ca}}$ – концентрация ионов SO_4 , входящих в комплекс $[\text{CaSO}_4]_k$.

С учетом уравнений (21, 22, 24–26) получим:

$$\begin{aligned} & \beta_7 \cdot f_2^2 \cdot [\text{Ca}] \cdot [\text{SO}_4] + \beta_{11} \cdot f_2 \cdot [\text{Ca}] \cdot [\text{HCO}_3] + \beta_2 \cdot f_2^2 \cdot [\text{Ca}] \cdot [\text{CO}_3] + \\ & + \beta_{11} \cdot f_2 \cdot [\text{Ca}] \cdot [\text{OH}] + \beta_{12} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot [\text{Ca}] \cdot [\text{OH}]^2 + [\text{Ca}] = [\text{Ca}]_{\text{общ}}. \end{aligned} \quad (27)$$

Аналогичным образом могут быть получены выражения и для других ионов:

$$\begin{aligned} & [\text{Mg}] + \beta_8 \cdot f_2^2 \cdot [\text{Mg}] \cdot [\text{SO}_4] + \beta_3 \cdot f_2 \cdot [\text{Mg}] \cdot [\text{HCO}_3] + \\ & + \beta_4 \cdot f_2^2 \cdot [\text{Mg}] \cdot [\text{CO}_3] + \beta_{13} \cdot f_2 \cdot [\text{Mg}] \cdot [\text{OH}] + \\ & + \beta_{14} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot [\text{Mg}] \cdot [\text{OH}]^2 = [\text{Mg}]_{\text{общ}}. \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} & [\text{Na}] + \beta_9 \cdot f_2 \cdot [\text{Na}] \cdot [\text{SO}_4] + \beta_5 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot [\text{Na}] \cdot [\text{HCO}_3] + \\ & + \beta_6 \cdot f_2 \cdot [\text{Na}] \cdot [\text{CO}_3] = [\text{Na}]_{\text{общ}}. \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} & [\text{SO}_4] + \beta_7 \cdot f_2 \cdot [\text{SO}_4] \cdot [\text{Ca}] + \beta_8 \cdot f_2^2 \cdot [\text{SO}_4] \cdot [\text{Mg}] + \\ & + \beta_9 \cdot f_2 \cdot [\text{SO}_4] \cdot [\text{Na}] = [\text{SO}_4]_{\text{общ}}. \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} & ([\text{HCO}_3] + \beta_1 \cdot f_2 \cdot [\text{HCO}_3] \cdot [\text{Ca}] + \beta_3 \cdot f_2 \cdot [\text{HCO}_3] \cdot [\text{Mg}] + \\ & + \beta_5 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot [\text{Na}] \cdot [\text{HCO}_3]) + 2([\text{CO}_3] + \beta_2 \cdot f_2^2 \cdot [\text{CO}_3] \cdot [\text{Ca}] + \\ & + \beta_4 \cdot f_2^2 \cdot [\text{CO}_3] \cdot [\text{Mg}] + \beta_6 \cdot f_2 \cdot [\text{CO}_3] \cdot [\text{Na}]) = [\text{HCO}_3]_{\text{общ}} + \\ & + 2[\text{CO}_3]_{\text{общ}} = \text{Щ} - [\text{OH}]_{\text{общ}}. \end{aligned} \quad (31)$$

Уравнения для $[\text{HCO}_3]_{\text{общ}}$ и $[\text{CO}_3]_{\text{общ}}$ сведены в одно, т. к. аналитическое определение $[\text{CO}_3^{2-}]$ может быть произведено со значительной погрешностью и поэтому предпочтительнее пользоваться определенным аналитическим значением щелочности. При этом $[\text{CO}_3]$ определяется из уравнения второй ступени диссоциации угольной кислоты:

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{K_2 \cdot \text{HCO}_3 \cdot f_1}{10^{-\text{pH}} \cdot f_2}. \quad (32)$$

Таким образом получена система из шести уравнений (27–32) для определения концентрации свободных ионов $[\text{Ca}]$, $[\text{Mg}]$, $[\text{Na}]$, $[\text{SO}_4]$, $[\text{HCO}_3]$, $[\text{CO}_3]$.

Теперь необходимо установить тенденцию к образованию отложений в обратном цикле, т. е. найти произве-

дение активностей $f_2^2 [\text{Ca}] \cdot [\text{CO}_3]$ и сравнить с PrCaCO_3 . При этом дан химсостав воды оборотного цикла, в т. ч. OH , щелочность, содержание ионов $[\text{Ca}]_{\text{общ}}$, $[\text{Mg}]_{\text{общ}}$ (составляющие жесткости), $[\text{Na}]$, $[\text{Cl}]$, $[\text{SO}_4^{2-}]$ (возможны и другие ионы, как правило в незначительных количествах). В этом случае, если значение pH определено достаточно точно, можно найти величину:

$$[\text{OH}] = \frac{K_w}{f_1 \cdot 10^{-\text{pH}}}, \quad (33)$$

а затем, решив систему уравнений (27 – 32), найти $[\text{Ca}]$ и $[\text{CO}_3]$ и в конечном итоге величину DFI, причем это и будет значение DFI, определенное уже с учетом комплексообразования.

Расчеты показывают, что в оборотных системах водоснабжения до 30 % и более ионов Ca^{2+} может быть связано в комплексы, что, естественно, уменьшает концентрацию свободных ионов кальция и может привести к получению значения DFI с некоторой погрешностью. Но наиболее значительная ошибка возникает в том случае, когда при вычислении DFI в качестве $[\text{CO}_3]$ принимают концентрацию карбонат-ионов, определенную на основании химанализа (в случае, если принять $[\text{CO}_3] = \text{Щ}_{\text{ф-ф}}$, где $\text{Щ}_{\text{ф-ф}}$ – щелочность по фенол-фталеину в г/экв/дм³). Как показывают расчеты, в связанном состоянии может находиться до 70 % и более ионов CO_3^{2-} . Поэтому величина DFI, определенная на основании концентраций ионов Ca^{2+} и CO_3^{2-} , найденных аналитически, может оказаться завышена в 5 раз по сравнению с действительным значением DFI, рассчитанным на основе концентрации свободных ионов.

Итак, учет комплексообразования позволяет более обоснованно определить тенденцию к образованию карбонатных отложений.

ВЫВОДЫ

1. При расчетах тенденции к образованию отложений карбоната кальция целесообразно пользоваться величиной:

$$\text{DFI} = \frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] \cdot f_{\text{Ca}} \cdot f_{\text{CO}_3}}{S_{\text{CaCO}_3}}.$$

2. При определении DFI необходимо учитывать образование комплексов CaCO_3 , CaSO_4 , MgCO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и пр., вследствие чего уменьшается содержание в воде свободных ионов Ca^{2+} и CO_3^{2-} , и следовательно снижается тенденция к образованию карбонатных отложений.

3. Получена система уравнений, в результате решения которой могут быть определены концентрации сво-



бодных ионов (связанных в комплексы), входящих в выражение для DFI.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клячко В. А., Апелцин И. Э. Подготовка воды для промышленного и городского водоснабжения. – М.: Стройиздат, 1962. – 820 с.
2. Левин Г. М. Защита водоемов от загрязнений сточными водами предприятий черной металлургии. / Г. М. Левин, Г. С. Пантелят, И. А. Вайнштейн, Ю. М. Супрун. // – М.: Металлургия, 1978. – 216 с.
3. Пантелят Г. С., Стабилизационная обработка воды. / Г. С. Пантелят В. Б. Шуб // Водоснабжение и санитарная техника. – 1981, № 5, – С. 4–7.
4. Кучеренко Д. И., Гладков В. А. Обратное водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1980. – 168 с.
5. Гороновский И. Т., Назаренко Ю. П., Некряч Е. Ф. Краткий справочник по химии. – Киев.: Наукова думка, 1987. – 830 с.
6. Алекин О. А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 480 с.
7. Булатов М. И. Расчеты равновесий в аналитической химии. – Л.: Химия, 1984. – 184 с.

У роботі розглядаються різні критерії оцінки спроможності води до утворення карбонатних відкладень. Запропоновано як найбільш обґрунтований показник використовувати відомий критерій DFI:

$$DFI = \frac{[Ca^{2+}][CO_3^{2-}] \cdot f_{Ca} \cdot f_{CO_3}}{S_{CaCO_3}}$$

де: S_{CaCO_3} – добуток розчинності $CaCO_3$, але приймати як $[Ca^{2+}]$ і $[CO_3^{2-}]$ концентрації тільки вільних іонів Ca^{2+} і CO_3^{2-} , а не загальні їх концентрації, що визначаються під час хімічного аналізу води. Одержана система рівнянь для визначення концентрації вільних іонів

Various criteria to estimate water tendency to form carbonate deposit are considered in the work. As the most proved parameter it is suggested well-known criterion DFI:

$$DFI = \frac{[Ca^{2+}][CO_3^{2-}] \cdot f_{Ca} \cdot f_{CO_3}}{S_{CaCO_3}}$$

where: is a product of solubility $CaCO_3$, but necessary to accept as $[Ca^{2+}]$ and $[CO_3^{2-}]$ the concentrations of only free ions Ca^{2+} and CO_3^{2-} instead of their total concentrations determined during water chemical analysis. The system of equations for determining free ions concentration is derived.