УДК 624.012.45: 699.84:620.1

ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА НА ЧАСТОТУ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ СТЕРЖНЕЙ

Кобринец В.М., Волчков И.С. *(Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)*

В статье делается попытка оценки влияния глубины коррозии на уход частоты от своего первоначального значения в сторону увеличения или уменьшения.

При динамическом расчете стержней и стержневых конструкций, важной задачей является не только определение частоты свободных колебаний, но и уточнение ее величины с учетом возможных изменений в процессе длительной эксплуатации под влиянием агрессивной окружающей среды.

Рассмотрим системы с одной динамической степенью свободы, это может быть невесомая балка на двух опорах с сосредоточенной массой, расположенной в середине пролета либо, какая угодно невесомая стержневая система. В этом случае частота свободных колебаний определяется по формуле

$$\omega = \sqrt{\frac{r}{m}}. \qquad (1)$$

Здесь r это жесткость балки, которую можно определить через податливость δ. Податливость определяется, как перемещения от единичной силы, прикладываемой в точке приложения сосредоточенной массы

$$\omega = \frac{1}{\delta}. \qquad (2)$$

Тогда для статически определимой балки запишем известную формулу

$$\omega = \sqrt{\frac{48EI}{ml^3}}. \qquad (3)$$

Рассмотрим балку сплошного квадратного сечения со стороной h_0. Коррозия происходит по всему периметру и проникает на глубину $h_{k(t)}$ рис.1.

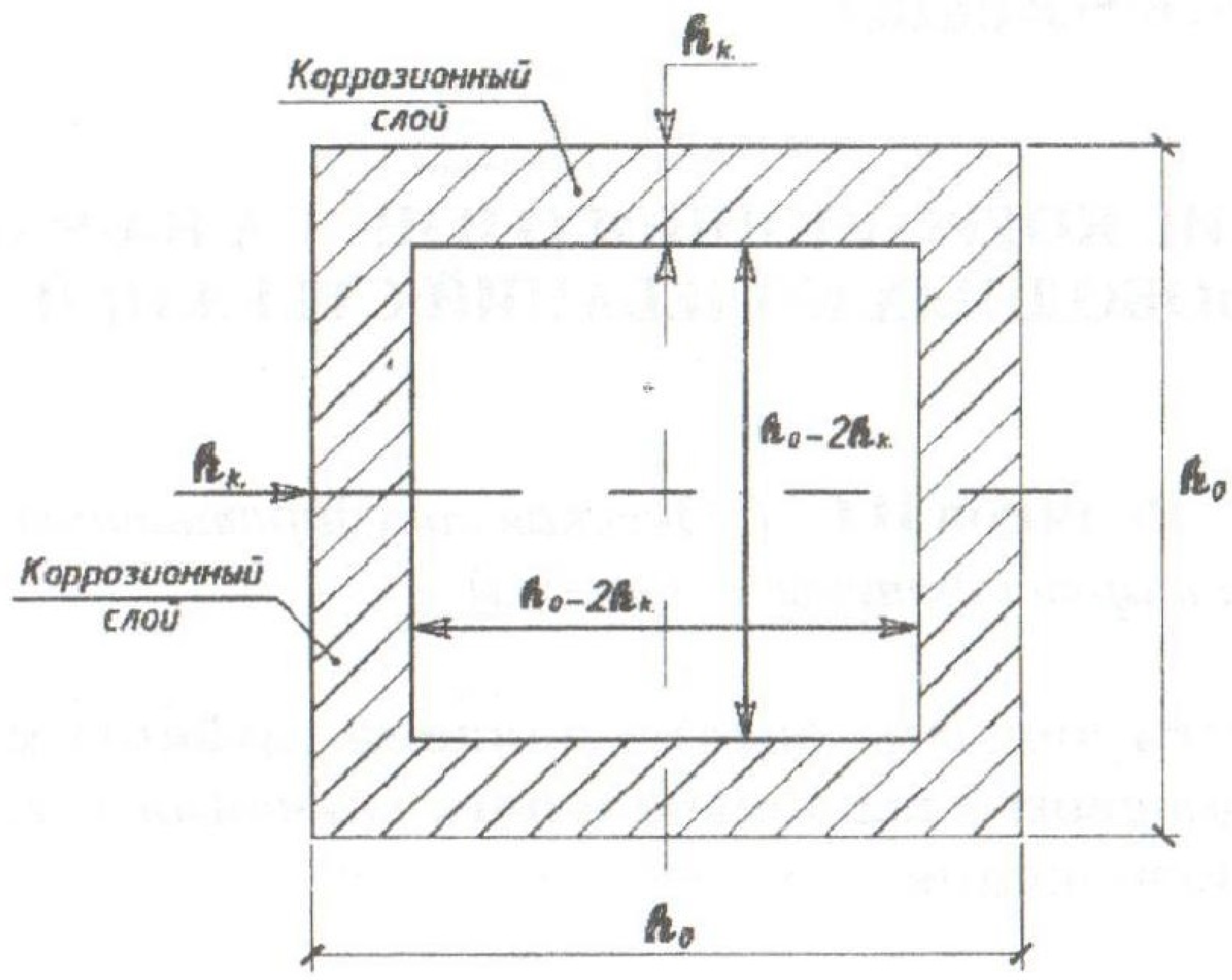

Рис. 1. Коррозионный износ квадратного сечения

Сторона сечения уменьшается $a_k = h_0 - 2h_{k(t)}$. При этом уменьшается и момент инерции.

$$I_k = \frac{\left(h_0 - 2h_{k(t)}\right)^4}{12}. \tag{4}$$

Изгибная жесткость балки уменьшается, и будет уменьшаться частота свободных колебаний

$$\omega_k = \left(h_0 - 2h_{k(t)}\right)^2 \cdot \frac{2}{l} \sqrt{\frac{E}{ml}}. \tag{5}$$

Выразим глубину проникновения коррозии $h_{k(t)}$ в долях от h_0

$$h_{k(t)} = k \cdot \frac{h_0}{2}, \qquad 0 \prec k \le 1. \tag{6}$$

Подставим (6) в (5)

$$\omega_k = (1-k)^2 \cdot \frac{2h_0^2}{l} \sqrt{\frac{E}{ml}}. \tag{7}$$

Самое большое значение частоты будет при отсутствии коррозии, если $k = 0$

$$\omega^{max} = \frac{2h_0^2}{l} \sqrt{\frac{E}{ml}}. \tag{8}$$

Полагая, что $\omega_k = 0,95\omega^{max}$, определим глубину коррозионного слоя, которая приведет к 5-ти процентному уменьшению частоты ω_k, при этом $kh_k = 0,9747 h_0$. Это составляет 2,53% от h_0. А при $k = 0,05$ произойдет изменение частоты на 9,025%. Следовательно, допускать 5-ти процентную погрешность при определении глубины коррозии в расчетах по определению частоты свободных колебаний недопустимо .

Относительное изменение ω_k от глубины коррозии, в данном случае от k показано на рис.2.

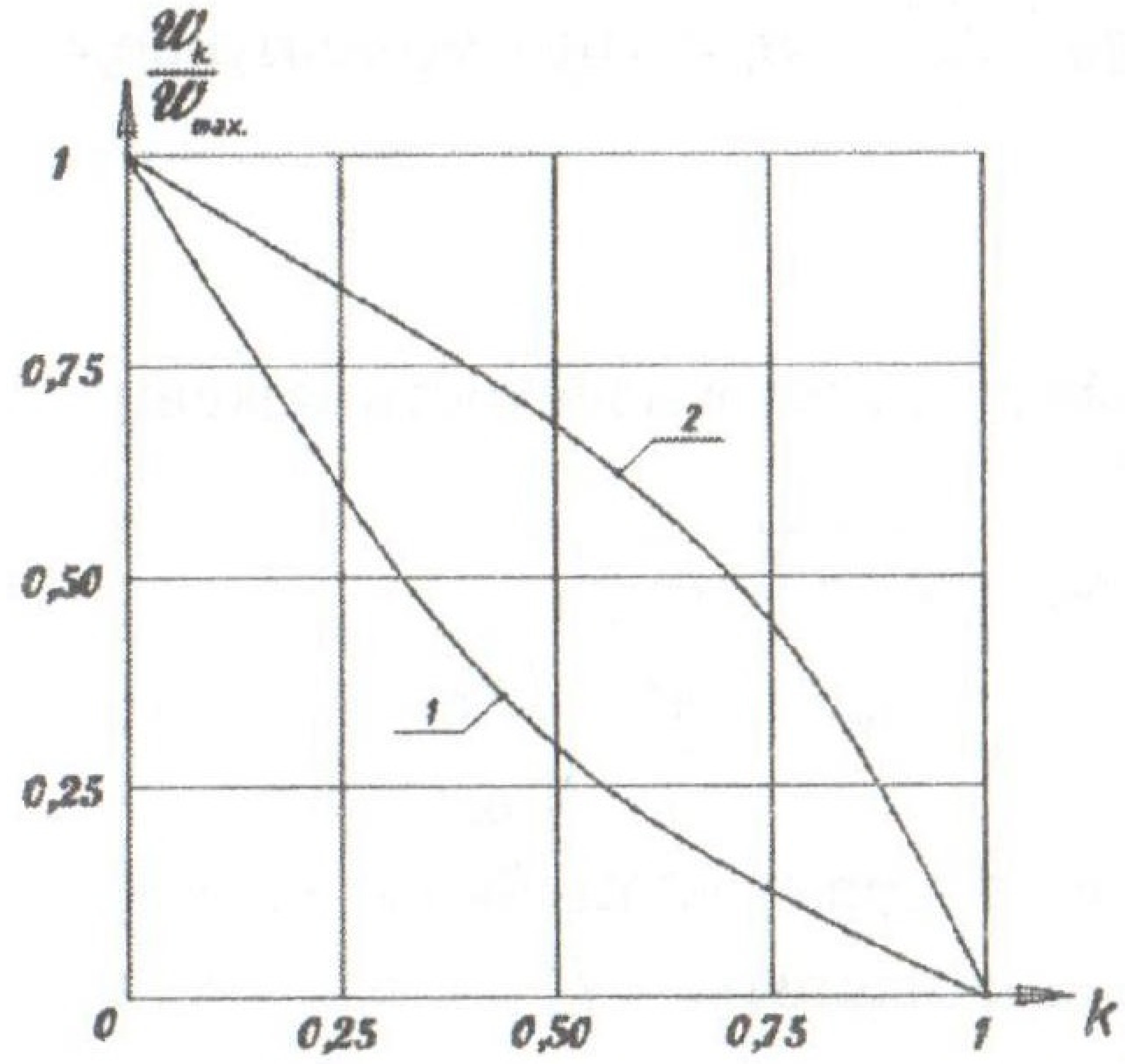

Рис. 2. Изменение частоты свободных колебаний от глубины коррозии: 1-квадратное сечение; 2-прямоугольное.

Определим изменение частоты свободных колебаний, во времени принимая математическую модель коррозионного износа в виде

$$h_{k(t)} = h_{k(\infty)} e^{-\beta/t} . \quad [1] \qquad (9)$$

По формулам (9) определяется глубина коррозионного износа для бетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивной газо-воздушной среде, $h_{k(\infty)} = 85 мм$, $\beta = 7,5,15,30$ для сильно средней и слабоагрессивной среды.

Для стальных конструкций применяется экспоненциальный закон Вейбула

$$h_{k(t)} = h_{(\infty)} \left[1 - e^{-1/\tau} \right]. \qquad (10)$$

Обозначение $h_{k(\infty)}$ – предельное значение глубины коррозии β – степень агрессивности среды. Подставим (9) в (5) предварительно определив ω_k по (7) и получим условие для определения t, $(1\text{-}k) = 1\text{-}h_{k(\infty)} e^{-\beta/t}$, отсюда находим

$$t = \frac{\beta}{ln \dfrac{h_k(\infty)}{0,5kh_0}}. \qquad (11)$$

Если $k = 0$ коррозия отсутствует, если $kh_0 = 2h_{k(\infty)}$ $t = \infty$, это как раз соответствует глубине предельной коррозии.

Определим частоту для балки прямоугольного сечения bхh, принимая b=0,5h. Коррозия начинается с длинных сторон h и затем проникает вглубь, а стороны "b" остаются свободными.

Выразим $h_{k(t)} = k\dfrac{b}{2}$; b=0,5h, тогда сторона прямоугольника "b" будет уменьшаться $b_k = (0,5h - 2k\dfrac{0,5h}{2})$, при этом момент инерции

$I_k = \dfrac{h^4(1-k)}{24}$.

Предполагаем, что колебания совершаются в плоскости максимальной изгибной жесткости с частотой

$$\omega_k = \sqrt{1-k}\cdot\omega^{max}. \qquad (12)$$

$$\omega^{max} = \frac{h^2}{l}\cdot\sqrt{\frac{2E}{ml}}. \qquad (13)$$

Определим значение k, входящее в формулу глубины износа, при котором произойдет 5-ти % изменение частоты $\sqrt{1-k} = 0,95$, откуда $k = 0,0975$, что составляет 9,75% от максимальной h_k. Это значительно больше $k = 2,53$ %, чем для квадратного сечения.

Глубина коррозионного износа для прямоугольного сечения, которая проникает с двух длинных сторон для достижения того же 5-ти процентного эффекта, оказалась в 1,925 раза больше, чем для квадратного с коррозией по всему периметру.

Рассмотрим свободные колебания балки под действием сил собственного веса.

Коррозия вызывает изменение геометрических размеров сечений балки. Это приводит к тому, что изменяется площадь и момент инерции. Но если коррозия по длине балки будет происходить при одинаковых агрессивных условиях, тогда можно считать, что площадь и момент инерции сечения балки будут зависеть от длительности коррозионного процесса, т.е. от времени. В этом случае уравнение колебаний весомой балки будет с переменными коэффициентами [2]

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left(EI_x(t)\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\right) + \frac{\rho}{g}A(t)\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0. \qquad (14)$$

Если учесть, что процесс коррозии длится годами, десятками лет и более, а колебания балки после прекращения причины, вызывающей колебания затухают в течение нескольких минут или десятков или десятков минут. Время колебания несоизмеримо со временем коррозии. По этому будем фиксировать время коррозии, тогда, когда нам это необходимо, и рассматривать уравнение (13) как с постоянными коэффициентами. При этом воспользуемся известным результатом решения уравнения с постоянными коэффициентами, но значения этих коэффициентов, это момент инерции I_x и площадь будем принимать таким, какими они сформировались в момент фиксации времени наблюдения за процессом коррозии. Обратимся к формуле основного колебания весомой балки

$$\omega = \pi^2 \sqrt{\frac{EI_x g}{A\rho l^4}}. \tag{15}$$

Сечение балки принимаем виде стального прокатного двутавра.
Площадь, которая остается в процессе коррозии

$$A = 2b\left(t - 2h_{k(t)}\right) + \left(h - 2t\right)\left(d - 2h_{k(t)}\right). \tag{16}$$

Момент инерции с учетом коррозии

$$I_{xk} = 2\left[\frac{b\left(t-2h_{k(t)}\right)^3}{12} + b\left(t - 2h_{k(t)}\right)\cdot\left(\frac{h-2t}{2}\right)^2\right] + \tag{17}$$

$$+\frac{\left(d-2h_{k(t)}\right)\left(h-2t\right)^3}{12}.$$

Частота свободных колебаний корродированной балки вычисляется по формуле (15) с подстановкой A и I_x по (16) и (17).

Коррозия прокатных профилей вызывает существенное изменение геометрических характеристик сечения.

Например, для I20 коррозия по схеме рис.3 глубиной в 1мм вызывает уменьшение площади с 26,8 см² до 18,66 см², площадь составляет 70% от первоначальной. Момент инерции с 1840 $см^4$ уменьшилась до 1238 $см^4$, что составляет 67,3% от первоначального.

Такие изменения площади и момента инерции приводят к увеличению податливости, что вызывает уменьшение частоты свободных колебаний.

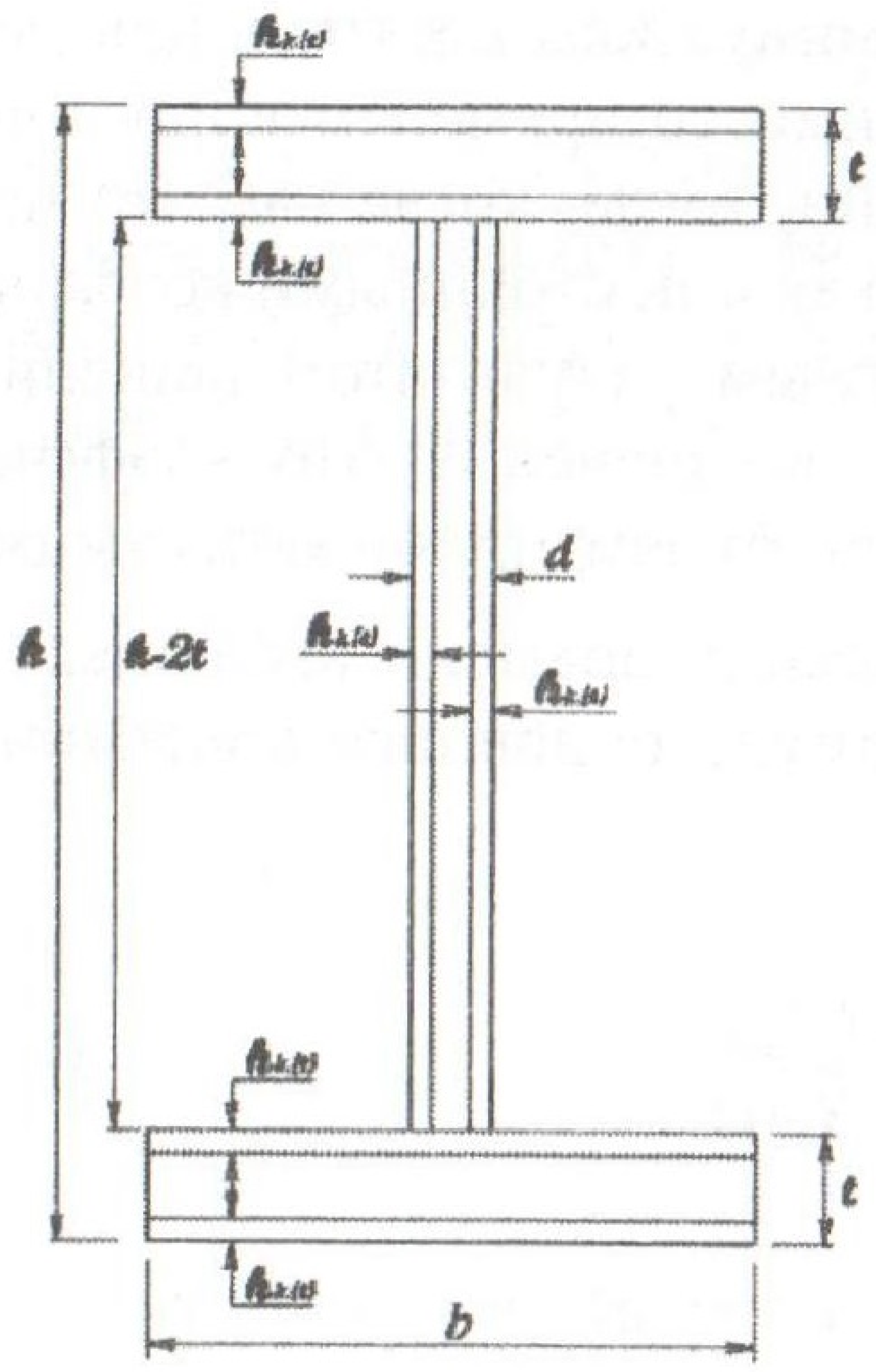

Рис.3. Схема коррозии двутаврового сечения

Выводы

1. Глубина коррозионного износа бетонных и железобетонных конструкций промышленных предприятий с агрессивным технологическим процессом может достигать 85мм, а это существенно влияет на частоту свободных колебаний.

2. Незначительная коррозия прокатных профилей даже глубиной в 1мм с большим модулем незащищенной поверхности может вызвать на уход частоты от первоначального значения.

Литература

1. Сетков В.Ю., Шибанова И.С., Шумилкин Ю.А., Захаров В.З. Долговечность железобетонных балок перекрытия промышленных зданий и сооружений предприятий Норильского горно-металлургического комбината. Ж. Строительство и архитектура, №2, 1984. С 1-4.

2. Тимошенко С.П. Курс теории упругости.- Киев, 1972, 507с.