

УДК 624. 012. 41

РАСЧЕТ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН

РОЗРАХУНОК ПОШКОДЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН

THE CALCULATION OF THE DAMAGED FERROCONCRETE COLUMNS

Клименко Е.В., д.т.н., проф., Дуденко Т.А., асп. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Клименко Є.В., д.т.н., проф., Дуденко Т.А., асп. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

Klimenko E. V., doctor of technical sciences, professor, Dudenko T. A. asp. (The Odessa State Academy of Building and Architecture, Odessa)

В статье изложен способ расчета поврежденных железобетонных колонн. Приведены основные предпосылки расчета и уравнения для нахождения неизвестных величин.

У статті викладено спосіб розрахунку пошкоджених залізобетонних колон. Наведено основні передумови розрахунку та рівняння для знаходження невідомих величин.

In this article the way of calculation of the damaged ferroconcrete columns is stated. The main preconditions of calculation and the equation for finding of unknown sizes are provided.

Ключові слова:

Бетон, расчет, повреждение, колонна, сжатие.

Бетон, розрахунок, пошкодження, колона, стиск.

Concrete, calculation, damage, column, compression.

Состояние вопроса и задачи исследования. Железобетонные конструкции являются широко распространенными в нашей стране. В результате ряда неблагоприятных факторов (агрессивное воздействие, механические повреждения, естественный износ конструкций и др.) в элементах конструкций возникают разного рода повреждения. В действующих нормативных документах отсутствуют конкретные рекомендации относительно расчета поврежденных элементов. В связи с этим возникает ряд проблем, которые требуют решения. Одной из них есть усовершенствование и создание новых методов расчетной оценки несущей

способности повреждённых железобетонных элементов, то есть расчета их остаточной прочности, на основе которой принимается та или иная схема усиления. Это является более рационально, так как затраты на усиление не всегда оправданы. Тем не менее, реконструкция несущих элементов в ряде случаев экономически выгодна и менее трудоёмка, так как может выполняться без привлечения спецтехники.

Для решения данной проблемы в лаборатории ОГАСА было изготовлено 17 колонн с повреждениями.

Железобетонные образцы имеют следующие геометрические характеристики: размер сечения – 200 x 250 мм, высота колонны – 1200 мм. Искусственное повреждение располагается в средней трети (Рис. 1,а). Армирование выполнено в виде вязаных каркасов с рабочей арматурой А 400 Ø 16 и поперечными хомутами из арматуры А 240 с Ø 6. (Рис. 1,б). Класс бетона С 15. У верхнего и нижнего оснований колонн установлено по 4 сеточки с размером ячейки 70x70 мм, шаг сеток 60мм.

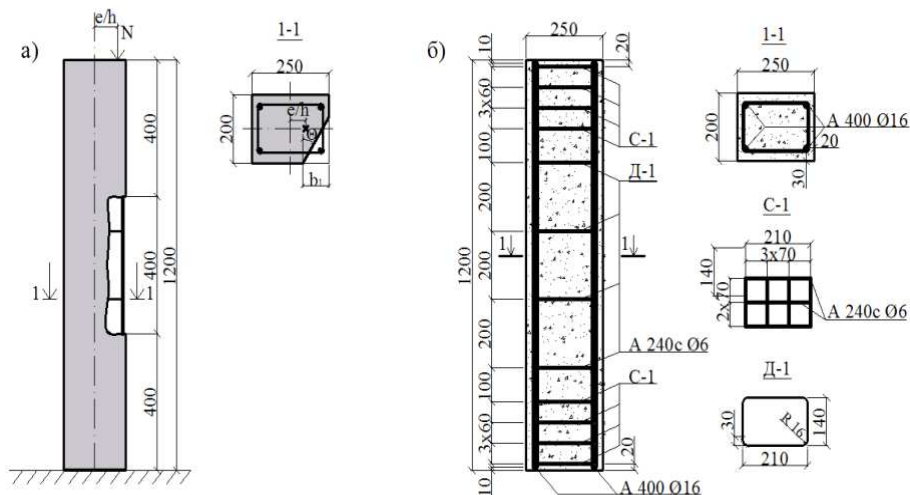


Рис.1. Опытный образец: а – общий вид поврежденного элемента; б – схема армирования

Были сформулированы основные предпосылки расчета:

1. Принимается гипотеза плоских сечений, т.е. после деформирования сечения остаются плоскими, а по высоте сечения деформации изменяются по линейной зависимости.
2. Сопротивление бетона растяжению принимают равным нулю. Усилия в растянутой зоне полностью воспринимаются арматурой.
3. Сопротивление бетона сжатию представляется напряжениями, равными f_{cd} и равномерно распределенными по сжатой зоне бетона [1], п.п. 3.1.6.2.
4. Напряжения в арматуре определяют в зависимости от высоты сжатой зоны бетона.

5. Растягивающие напряжения в арматуре принимают не более расчетного сопротивления растяжению f_t .
6. Сжимающие напряжения в арматуре принимают не более расчетного сопротивления сжатию f_{yd} .
7. Условие параллельности силовых плоскостей [2]: точка приложения внешней силы А, равнодействующей сжимающих усилий в бетоне и арматуре В и равнодействующей усилий в растянутой арматуре С должны лежать на одной прямой (Рис. 2, а).

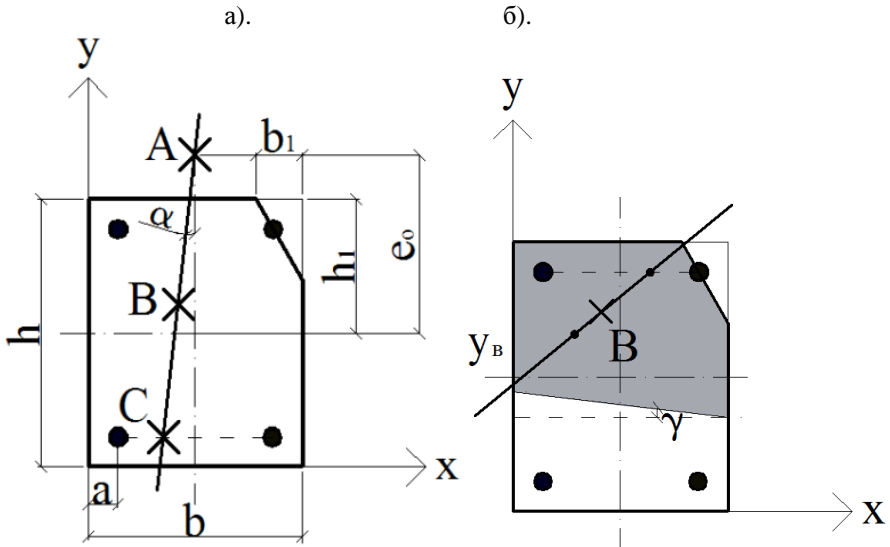


Рис.2. Условие параллельности силовых плоскостей

Для того что бы записать уравнение равновесия внутренних и внешних сил необходимо знать положение центра тяжести сжатого бетона. Центры тяжести сжатого бетона и арматуры, а так же их равнодействующая, лежат так же на одной прямой (Рис.2, б).

Определим силы в арматурных стержнях:

$$N_{s1} = \sigma_1 \cdot A_1; \quad (1)$$

$$N_{s2} = \sigma_2 \cdot A_2; \quad (2)$$

$$N_{s3} = \sigma_3 \cdot A_3; \quad (3)$$

$$N_{s4} = \sigma_4 \cdot A_4; \quad (4)$$

Для нахождения положения равнодействующих в сжатой арматуре найдем величину n (Рис. 3, а). Обозначим расстояние от центра арматурного стержня 1 до точки приложения равнодействующей как некую величину n , тогда расстояние до центра 2 стержня будет $(b_a - n)$, где b_a – расстояние между центрами арматурных стержней. Силы, действующие в стержнях 1 и 2

рассматриваем как пару сил, т.е. справедливо следующее выражение:

$$N_{s1} \cdot n = N_{s2} \cdot (b_a - n); \quad (5)$$

Тогда n будет равно:

$$n = \frac{b_a \cdot N_{s2}}{N_{s1} + N_{s2}}; \quad (6)$$

Абсцисса центра тяжести сжатой зоны бетона (Рис.3, б):

$$x_c = x_c' - \Delta; \quad (7)$$

Ордината центра тяжести сжатой зоны бетона (Рис.3, б):

$$y_c = h_0' - \delta; \quad (8)$$

Величину катета Δ найдем из тангенса β :

$$\Delta = tg\beta \cdot \delta; \quad (9)$$

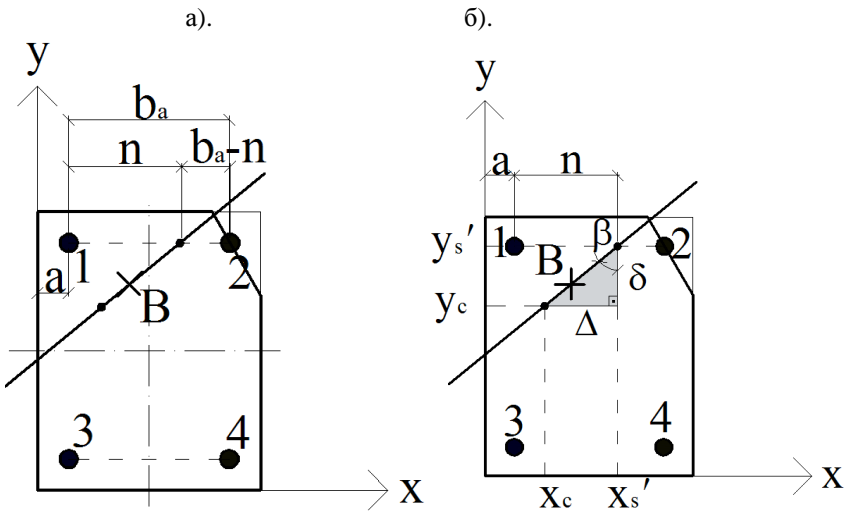


Рис.3. Определение положения центра тяжести сжатой зоны бетона

Таким образом, выразив необходимые неизвестные величины можно составить систему уравнений. Искомые величины:

1. x_l – высота сжатой зоны сечения;
2. N – несущая способность образца;
3. γ – угол наклона нейтральной линии;
4. β – угол наклона прямой, проходящей через точки равнодействующих сжатой зоны бетона и сжатой арматуры;
5. δ – неизвестный катет треугольника.

Две последние величины необходимы для определения положения центра тяжести сжатой зоны бетона (11-12).

Для нахождения 5 искоемых величин необходимо 5 уравнений.

1. Уравнение равновесия относительно оси x :

$$\mathbf{N} - f_{cd} \cdot A_c + \sum \sigma_{1-4} \cdot A_{1-4} = \mathbf{0}; \quad (10)$$

2. Уравнение суммы моментов относительно оси x :

$$N \cdot e - f_{cd} \cdot A_c \cdot x_c - \sigma_{1-2} \cdot A_{1-2} \cdot h_0 + \sigma_{3-4} \cdot A_{3-4} \cdot a = 0; \quad (11)$$

3. Уравнение суммы моментов относительно оси y :

$$N \cdot \frac{b}{2} - \sigma_1 \cdot A_1 \cdot a - \sigma_2 \cdot A_2 \cdot (b - a) + \sigma_3 \cdot A_3 \cdot a + \sigma_4 \cdot A_4 \cdot (b - a) - f_{cd} \cdot A_c \cdot y_c = 0; \quad (12)$$

4. Статический момент относительно сжатой зоны бетона, ось x :

$$\frac{b}{2} (h - y_c)^2 - \frac{1}{2} \cdot b_1 \cdot h_1 \left(h - \frac{h_1}{3} - y_c \right) - \frac{b}{2} (x_1 - h_3 - (h - y_c))^2 - \frac{1}{2} \cdot b \cdot h_3 \left(x_1 - h_3 - (h - y_c) + \frac{h_3}{3} \right) = 0; \quad (13)$$

5. Статический момент относительно сжатой зоны бетона, ось y :

$$\left(\frac{(x_1 - h_3) + (x_1 - h_4)}{2} \cdot x_c \right) \cdot \left(x_c - \left(\frac{x_c}{3} \cdot \frac{2(x_1 - h_4) + (x_1 - h_3)}{(x_1 - h_4) + (x_1 - h_3)} \right) \right) - \left(\frac{(x_1 - h_4) + x_1}{2} \cdot (b - x_c) \right) \cdot \frac{2x_1 + (x_1 - h_4)}{(x_1 - h_4) + x_1} - \frac{1}{2} b_1 h_1 \left((b - x_c) - \frac{b}{3} \right) = 0 \quad (14)$$

В уравнениях (10-11) напряжения в арматуре определим по следующей формуле:

$$\sigma_{si} = \frac{\sigma_{sc,u}}{1 - \frac{\omega}{1,1}} \left(\frac{\omega}{\xi_i} - 1 \right); \quad (15)$$

В (15) неизвестным является величина относительной высоты сжатой зоны $\xi_i = \frac{x}{h_{oi}}$, где h_{oi} – расстояние от оси, проходящей через центр тяжести сечения рассматриваемого i -го стержня и параллельной прямой, ограничивающей сжатую зону, до наиболее удаленной точки сжатой зоны сечения. Определить величины h_{oi} возможно из геометрии сечения (Рис.4, а).

Определение h_{oi} (Рис.4, б). Высота h_{oi} соответствует отрезку FM , который необходимо найти.

1. Рассмотрим треугольник ΔMPN . $PN = a'$, тогда:

$$MP = PN \cdot tgj; \quad (15)$$

2. В ΔKLM отрезок $LT = b_2$:

$$KL = LT \cdot tgj; \quad (16)$$

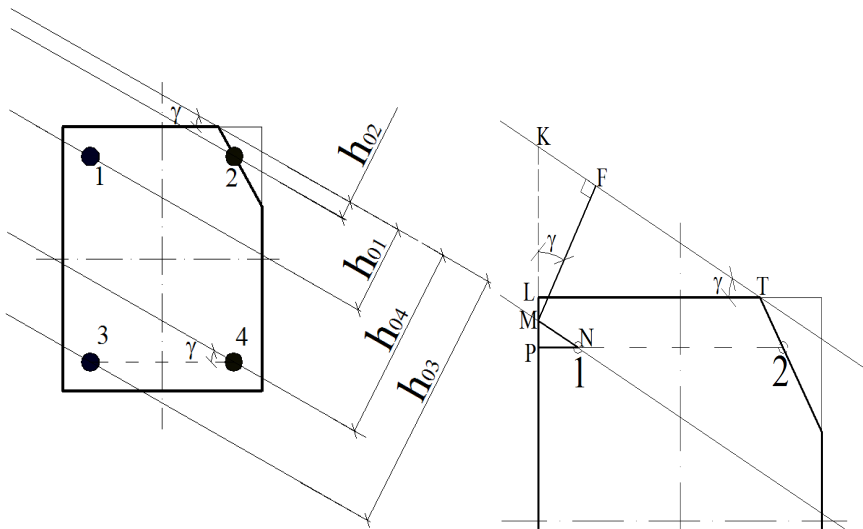


Рис.4. Определение величины h_{oi}

3. Из ΔKFM :

$$KM = a - MP + KL; \quad (17)$$

$$FM = KM \cdot \cos j; \quad (18)$$

Подставив получаем:

$$h_{01} = (a' - a' \cdot \operatorname{tg} j + b_2 \cdot \operatorname{tg} j) \cdot \cos j; \quad (19)$$

По аналогии находим все h_{oi} .

Для решения системы уравнений (9-13) использовался Метод Ньютона. Был создан алгоритм в *Microsoft Office Excel*.

Выводы. Нормативные документы, действующие ныне [1], не дают исчерпывающих ответов относительно некоторых задач реконструкции. Поэтому, актуальной остается проблема определения остаточной несущей способности поврежденных несущих элементов.

На основании предпосылки о параллельности силовых плоскостей была составлена система уравнений, решение которой позволяет определить величину несущей способности поврежденных элементов.

1. Бетонні та залізобетонні конструкції (II-а ред): ДБН В.2.6.-2011. – [Чинний від 2011-06-01]. – К.: МІНРЕГІОНБУД України, 2009. – 101 с. (Державні будівельні норми України). 2. СНИП Бетонные и железобетонные конструкции. СНиП 2.03.01-84*. – [Чинний від 1984-08-20]. – М.: Госстрой СССР, 1989. – 80 с.