

**О ВОЗМОЖНОСТЯХ
ПРИМЕНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО СПОСОБА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК**

Ковров А.В., Чайковский Р.Э., Максимова Т.А. (Одесская государственная академия
строительства и архитектуры, г.Одесса)

Виконаний аналіз залежностей, які описують деформування залізобетонних балок у стадії з тріщинами у відповідності до методики СНіП 2.01.03-84* й методикою, основою на пропозиціях І.Є.Прокоповича. Запропонована для практичних цілей лінійна залежність «згинальний момент – кривина» з використанням граничних значень моментів та кривин.

Актуальность исследований – при расчете несущей способности неразрезных железобетонных балок достоверность полученных решений зависит от принятого значения жесткости сечения.

Цель работы – развить практический способ построения диаграммы деформирования сечений железобетонных элементов «изгибающий момент – кривизна», основанный на предложениях И.Е.Прокоповича.

В статьях [1], [2] предложен практический способ определения жесткости железобетонных балок, приведено сравнение диаграмм деформирования сечений неразрезных железобетонных балок, построенных при помощи предложенного способа и методики СНиП 2.01.03-84*, с экспериментальными данными [3].

Кривизна изгибаемых железобетонных элементов без предварительного напряжения с учетом процессов трещинообразования определяется формулой:

$$k = \left(\frac{1}{r} \right) = \frac{M \psi_r}{z A_r E_r (h_0 - x)}, \quad (1)$$

где $M, \psi_r, z, A_r, E_r, h_0, x$ – определяются в соответствии с [4].

Выражение для определения жесткости сечения элемента с ненапрягаемой арматурой с учетом трещинообразования в растянутой зоне под действием кратковременной нагрузки, согласно [5]:

$$B_r = E_b A_b h_0^3 \sqrt{\mu n_1} K, \quad (2)$$

где $E_b, A_b, h_0, \mu, n_1, K$ – определяются в соответствии с [5].

Кривизну железобетонного изгибаемого элемента на всех стадиях работы можно определить из физического уравнения:

$$k = \left(\frac{1}{r} \right) = \frac{M}{B_r}. \quad (3)$$

На рис. 1 приведен график «жесткость - изгибающий момент», построенный по методике, изложенной в работах [1], [2].

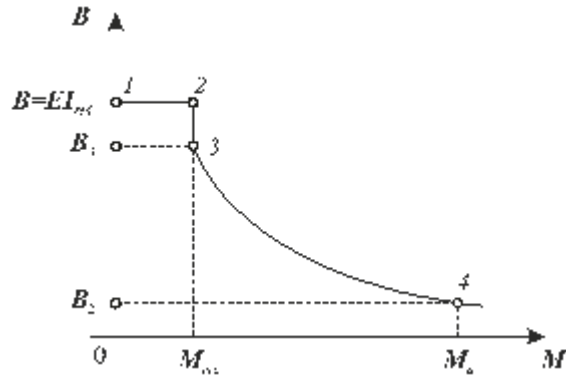


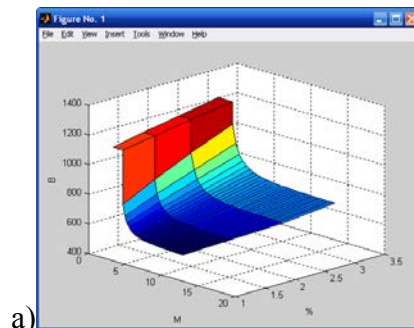
Рис. 1. График «жесткость - изгибающий момент»

Участок 1-2 соответствует упругой работе элемента.

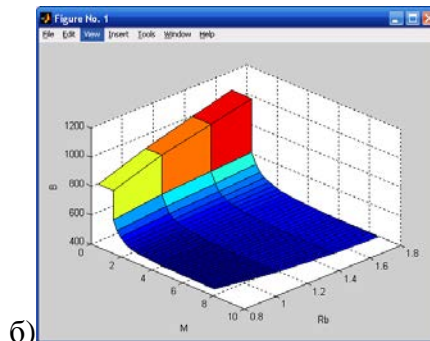
При образовании трещин кривизна элемента возрастает скачкообразно – при неизменяемом значении изгибающего момента изменяется жесткость. Таким образом, на этом участке математически жесткость B – разрывная функция (участок 2-3).

При работе железобетонного элемента с трещинами (участок 3-4) жесткость определяется по формуле (2), интерпретируется как секущая жесткость и геометрически равна тангенсу угла между осью кривизн и лучом, проведенным из начала координат к соответствующей точке диаграммы «изгибающий момент - кривизна».

На рис. 2а представлена поверхность «жесткость - изгибающий момент» в зависимости от изменения процента армирования сечения (1,4%, 1,93%, 2,51%, 3,18%). Поверхность построена для железобетонной балки прямоугольного сечения размерами 10×16см, выполненной из бетона класса В30.



а)



б)

Рис. 2. Поверхность «жесткость - изгибающий момент», построенная в зависимости от:

а) процента армирования

б) класса бетона

На рис. 2б представлена поверхность «жесткость - изгибающий момент» в зависимости от изменения класса бетона (В15, В20, В25, В30) для железобетонной балки того же поперечного сечения, с фиксированной площадью арматуры $A_s=2,26\text{см}^2$.

На рис. 3 приведена аппроксимация участка диаграммы «изгибающий момент - кривизна», соответствующего процессу трещинообразования, линейной зависимостью и полиномом 2-й степени, а также график разниц между значениями, определенными по уравнению регрессии и по формуле (1).

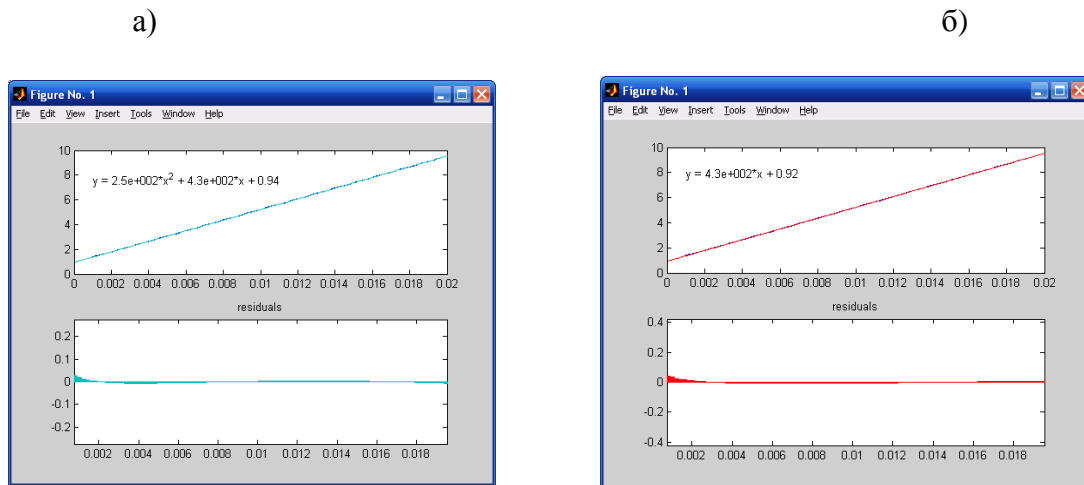


Рис. 3. Аппроксимация участка диаграммы, построенной по методике СНиП 2.01.03-84* а) линейной зависимостью; б) полиномом 2-й степени

Участок диаграммы построен на интервале моментов от M_{ac} до M_u . Абсциссе x соответствует кривизна элемента k , ординате y – изгибающий момент M .

Видно, что данные, определенные по формуле (1) не представляют собой линейную зависимость, но могут быть статистически достоверно описаны ею.

На рис. 4 приведена аппроксимация участка диаграммы «изгибающий момент - кривизна», соответствующего процессу трещинообразования, линейной зависимостью и полиномом 2-й степени, а также график разниц между значениями, определенными по уравнению регрессии и по формуле (3), с учетом (2).

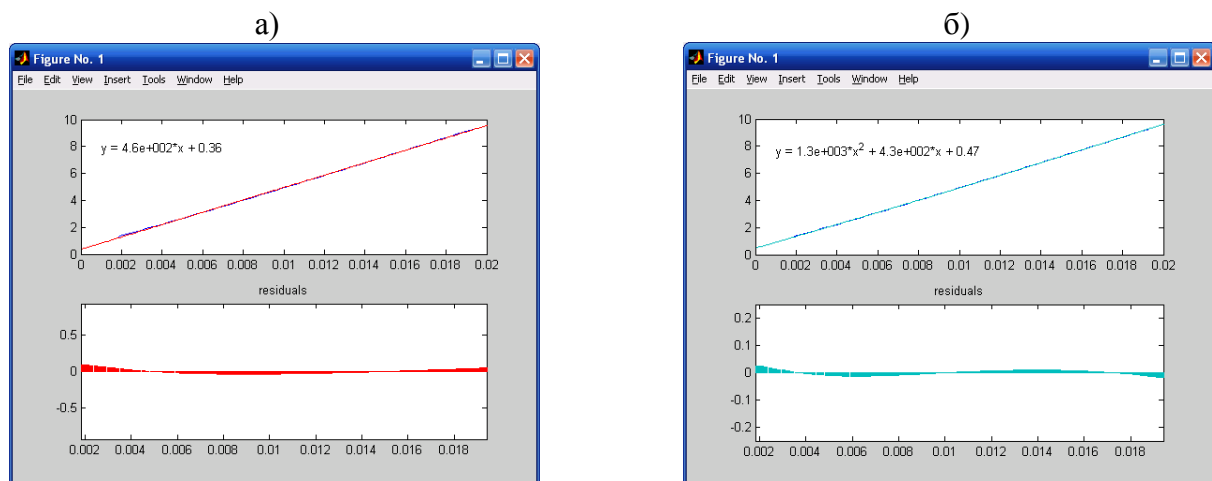


Рис. 4. Аппроксимация участка диаграммы, построенной по предлагаемой методике а) линейной зависимостью б) полиномом 2-й степени

Как и в предыдущем случае, абсциссе x соответствует кривизна элемента k , ординате y – изгибающий момент M .

Полученные данные свидетельствуют о том, что диаграмма «изгибающий момент - кривизна», построенная по предлагаемой методике, не представляет собой линейную зависимость, однако может быть статистически достоверно описана ею.

Составим уравнение прямой, проходящей через две граничные точки с координатами (k_1, M_{acc}) и (k_2, M_n) , где k_1 и k_2 определяются в соответствии с диаграммой «изгибающий момент - кривизна», построенной по методике И.Е.Прокоповича [1], [2].

После некоторых преобразований получим выражение для определения кривизны элемента k_i в зависимости от значения изгибающего момента M_i :

$$k_i = k_1 + (M_i - M_{acc}) \frac{(k_2 - k_1)}{(M_n - M_{acc})} \quad (4)$$

Используя выражение (4), получим формулу для практического определения жесткости сечения $B_{I,1}$ железобетонной балки в зависимости от значения изгибающего момента M_i :

$$B_{I,1} = \frac{M_i}{k_1 + (M_i - M_{acc}) \frac{(k_2 - k_1)}{(M_n - M_{acc})}} \quad (5)$$

Таким образом, выражение, аппроксимирующее рассматриваемый участок диаграммы (рис. 4а) предлагаемой линейной зависимостью (4), примет вид:

$$k_i = 0,0022M_i - 0,001 \quad (6)$$

В таблице 1 приведена статистическая оценка распределения отношения кривизн, полученных по формулам (3) и (6).

Таблица 1.

Статистическая оценка распределения k_i / k_p	
Выборочное среднее M_x	0.9866
Выборочная дисперсия S_x	0.0125
Выборочный коэффициент вариации v_x	0.0127
Доверительный интервал ($P=0,95$) p_n	0.9841
p_v	0.9890

Статистический анализ показывает, что значения кривизн, полученных с использованием физического уравнения (3), с учетом выражения (2), и значения, полученные по предлагаемой линейной зависимости (6), практически совпадают.

Результаты проведенных теоретических исследований подтверждают выводы, сделанные в работе [2] и результаты экспериментальных исследований, приведенные в работе [3].

Выводы

1. Проведенные теоретические исследования показали, что участок диаграммы «изгибающий момент - кривизна», соответствующий процессу трещинообразования и построенный по методике СНиП 2.01.03-84*, а также методике, которая основана на предложениях И.Е.Прокоповича, не представляет собой линейную зависимость, однако может быть статистически достоверно описан ею.

2. Предложена для практических целей линейная зависимость между кривизной железобетонного элемента и изгибающим моментом, а также выражение для определения жесткости сечения в зависимости от изгибающего момента.

SUMMARY

The analysis of dependencies, which describe the deformation of reinforced concrete beams in phase with cracks in accordance with the methodology SNIP 2.01.03-84* and methodology, based on proposals by I.E.Prokopovich. Proposed for practical purposes a linear dependence of the «bending moment - curvature» using the boundary values of the moments and curvatures.

Литература

1. Яременко А.Ф. О практическом способе определения жесткости железобетонных балок / А.Ф.Яременко, А.В.Ковров, Т.А.Синюкина // Вісник ОДАБА. – Одесса, 2005. – № 20. – С.389-394.
2. Ковров А.В. К анализу закономерностей деформирования сечений неразрезных железобетонных балок / А.В.Ковров, Р.Э.Чайковский, Т.А. Синюкина // Вісник ОДАБА. – Одесса, 2007. – № 27. – С.178-183.
3. Бабич В.Є. Напружено-деформований стан і міцність нерозрізних залізобетонних балок при одноразових та повторних навантаженнях. – Дис. ... канд. техн. наук. – Рівне, 2005.
4. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя РФ, 1996. – 79с.
5. Прокопович И.Е. Прикладная теория ползучести / И.Е.Прокопович, В.А.Зедгенидзе. – М.: Стройиздат, 1980. – 240с.