

### Список использованной литературы:

1. Ржаницын Л.Р. Строительная механика: учеб. [пособие для вузов] / Л.Р. Ржаницин.- М.: Высш. школа, 1982.- 400 с.
2. Лукаш П.А. Основы нелинейной строительной механики / П.А. Лукаш. - М.: Стройиздат, 1987. - 204 с.
3. Ильин О.Ф. К оценке прочности железобетонных элементов по наклонным сечениям: [сборник трудов. / Под ред. Л.С. Залесова и др.] - М.:НИИЖБ Госстроя СССР, 1989. - 199с.
4. Елагин Е.Г. Сопротивление раскрытию трещин железобетонных стержней произвольного сечения при сложном деформировании, включающем кручение / Е.Г. Елагин – Известия ВУЗов. Строительство и архитектура.-1998. №6.-С. 8-9.
5. Городецкий А.С. Приложение метода конечных элементов к физически нелинейным задачам строительной механики / А.С. Городецкий: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.17. - Киев, 1978. - 34 с.
6. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики (статика стержневых систем): учеб. пособие для студентов вузов / [Г.К. Клейн, Н.И. Леонтьев, М.Г. Ванющенко и др.] ; под ред. Г.К. Клейна. – [4-е изд., переаб. и доп.]. - М.: Высш.школа, 1980. - 384 с.

*У статті розглянуті розрахункові схеми для визначення жорсткості залізобетонних елементів прямокутного перерізу при завантаженні комплексної навантаженням.*

*The article deals with calculation schemes for determining the stiffness of reinforced concrete elements with rectangular.*

Дата надходження в редакцію: 20.05.12 р.

Рецензент: д.т.н., професор Симановський В.І.

УДК 624.046

### ЗАВИСИМОСТЬ ПРИРАЩЕНИЙ КРИВИЗН В СЕЧЕНИЯХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ БАЛОЧНЫХ СИСТЕМ ПРИ ДЕЙСТВИИ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ УСИЛИЙ

**В.В. Душин**, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

**Н.В. Нагорный**, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

**А.Н. Чегринец**, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

*Предложенные расчетные зависимости удобны для анализа процессов деформирования и разрушения статически неопределимых железобетонных балочных систем при переменном положении нагрузки и запроектных воздействиях, в случае возникновения динамических эффектов в элементах системы от этих воздействий. Определение напряженно-деформированного состояния различных сечений неразрезной балки можно производить с помощью метода сил в конечно элементной постановке, организовав нелинейный расчет системы методом итераций*

**Постановка задачи в общем виде.** При определении приращений динамических кривизн в случае внезапных запроектных воздействиях в сечениях элементов балочных систем, будем использовать полученные в предыдущем параграфе выражение для определения предельного изгибающего момента ( $M_0$ ). В развитие исследований [86] построим расчетные зависимости для определения приращений динамических кривизн в сечениях железобетонных балок при переменном положении нагрузки.

Общий вид диаграммы «М- $\alpha$ » для балочного элемента, с достаточной для практики точностью, может быть представлен зависимостью следующего вида:

$$M = 2\alpha \cdot k(1 - \alpha \cdot k / (2m \cdot M_0)) / m, \quad (1)$$

где  $M_0$  — предельное значение момента;

$$k = \operatorname{tg} \varphi_0; m = \operatorname{tg} \varphi_0 / \operatorname{tg} \varphi$$

Найдем из выражения (1) значение  $\alpha$ :

$$\alpha = m M_0 (1 - \sqrt{1 - (M/M_0)}) / k \quad (2)$$

**Формулировка целей статьи.** При внезапном разрушении  $j$ -го элемента в  $n$ - раз статически неопределимой балочной системе, допустим, произойдет выключение из работы опорного сечения над второй опорой неразрезной балки ( $j=2$ ) или самой опоры ( $j=2$ ) от действия эксплуатационной нагрузки, тогда в оставшихся неразрушенными элементах ( $n-1$ )-раз статически неопределимой балочной системы возникнет динамический эффект.

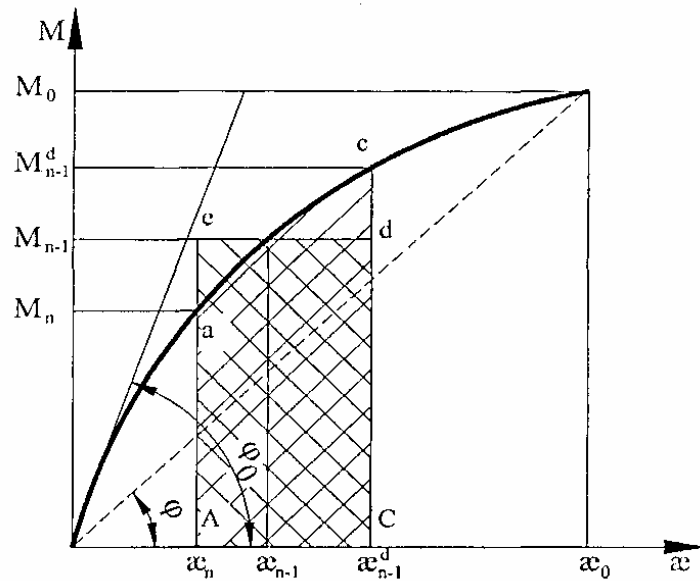


Рис. 1. Зависимость "M-ε" для определения динамических кривизн в сечении железобетонного элемента

**Изложение основного материала.**

Изгибающие моменты  $M_{in-1}^d$  и соответствующие им обобщенные кривизны  $\varepsilon_{n-1}^d$  в произвольном i-том сечении неразрушенной части (n-1)-раз статически неопределимой системы в течение первого полупериода ее колебаний будут превышать изгибающие моменты и соответствующие кривизны, которые возникли

бы в этой системе, если бы переход n-системы в систему (n) осуществлялся не в результате мгновенного разрушения элемента, а путем его медленного принудительного разгрузки от некоторого значения предельного изгибающего момента  $M_n^c$  в этом сечении до нулевого значения момента.

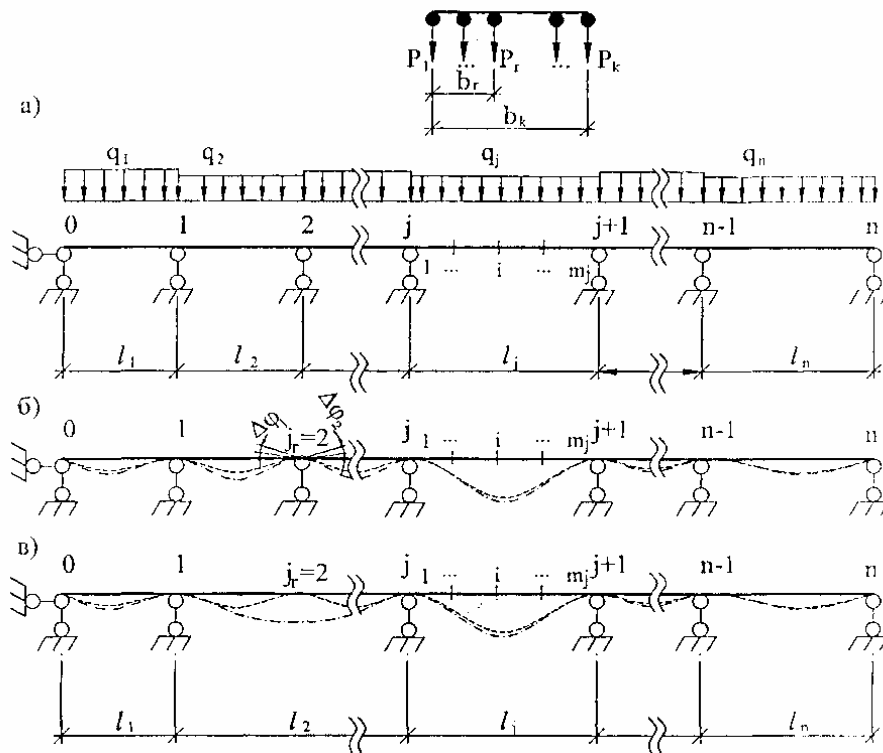


Рис.2. К расчету деформирования железобетонной балочной системы при эксплуатационных (постоянная и система сосредоточенных сил) нагрузках и внезапном запроектном воздействии: а — расчетная схема n-системы; б, в — балочная система после выключения из работы, соответственно, опорного сечения, опоры ( $j_r=2$ ).

- деформированная схема  $n$  системы
- деформированная схема  $(n-1)$  системы с учетом динамического эффекта.

При постоянной внешней нагрузке на систему, согласно гипотезе о неизменности положения системы сосредоточенных нагрузок,  $u$  медленном принудительном переводе системы  $n$  в систему  $(n-1)$  изгибающие моменты и, соответственно, кривизны в остальных пролетах  $(n-1)$ -раз статически неопределимой балочной системы равнялись бы соответствующим моментам и кривизнам в заданной нелинейно-деформированной системе с удаленным элементом  $j_r$ .

Рассмотрим методику определения приращений динамических кривизн в общем виде применительно к  $i$ -тому сечению произвольного элемента балочной системы. Диаграмма «момент-кривизна» для рассматриваемого сечения

изгибаемого элемента балочной системы, описываемая зависимостью (1), представлена на рис. 1.

На диаграмме «М- $\varepsilon$ » обозначим характерные величины моментов

$$M_n, M_{n-1}, M_{n-1}^d \text{ и соответствующие им}$$

кривизны  $\varepsilon_n, \varepsilon_{n-1}, \varepsilon_{n-1}^d$ .

Для первого полупериода колебаний рассматриваемого пролета балки с  $i$ -тым сечением (на диаграмме "М- $\varepsilon$ " от точки  $a$  до  $c$ ), когда происходит активное нагружение сечения, можно составить условие постоянства полной удельной энергии, которое приводит к равенству на графике «М- $\varepsilon$ » площадей криволинейной трапеции  $aACc$  и прямоугольника  $AedC$ . Таким образом

$$\int_0^{\varepsilon_n - \Delta \varepsilon_{n-1}^d} M(\varepsilon) d\varepsilon - \int_0^{\varepsilon_n} M(\varepsilon) d\varepsilon = M_{n-1} \cdot \Delta \varepsilon_{n-1}^d, \quad (3)$$

где  $\Delta \varepsilon_{n-1}^d = \varepsilon_{n-1}^d - \varepsilon_n$

Запишем выражение (3) применительно к принятой диаграмме "кривизна-момент" (1):

$$\begin{aligned} \int_0^{\varepsilon_n - \Delta \varepsilon_{n-1}^d} M(\varepsilon) d\varepsilon &= \int_0^{\Delta \varepsilon_{n-1}^d + \varepsilon_n} \left( \frac{2k}{m} \varepsilon - \frac{k^2}{m^2 M_0} \varepsilon^2 \right) d\varepsilon = \\ &= \frac{k}{m} \left( \Delta \varepsilon_{n-1}^d + \varepsilon_n \right)^2 - \frac{k^2}{3m^2 M_0} \left( \Delta \varepsilon_{n-1}^d + \varepsilon_n \right)^3; \\ \int_0^{\varepsilon_n} M(\varepsilon) d\varepsilon &= \int_0^{\varepsilon_n} \left( \frac{2k}{m} \varepsilon - \frac{k^2}{m^2 M_0} \varepsilon^2 \right) d\varepsilon = \frac{k}{m} \left( \varepsilon_n \right)^2 - \frac{k^2}{3m^2 M_0} \left( \varepsilon_n \right)^3. \\ \frac{k}{m} \left( \Delta \varepsilon_{n-1}^d + \varepsilon_n \right)^2 - \frac{k^2}{3m^2 M_0} \left( \Delta \varepsilon_{n-1}^d + \varepsilon_n \right)^3 - \frac{k}{m} \left( \varepsilon_n \right)^2 - \frac{k^2}{3m^2 M_0} \left( \varepsilon_n \right)^3 &= \\ &= \left( \frac{2k}{m} \varepsilon_{n-1} - \frac{k^2}{m^2 M_0} \left( \varepsilon_{n-1} \right)^2 \right) \Delta \varepsilon_{n-1}^d \end{aligned} \quad (4)$$

Умножим обе части уравнения (4) на  $\frac{m}{k}$ , где  $\frac{m}{k} \neq 0$ .

$$\begin{aligned} \left( \Delta \varepsilon_{n-1}^d + \varepsilon_n \right)^2 - \frac{k}{3m M_0} \left( \Delta \varepsilon_{n-1}^d + \varepsilon_n \right)^3 - \left( \varepsilon_n \right)^2 + \frac{k}{3m M_0} \left( \varepsilon_n \right)^3 - \\ - \left( 2\varepsilon_{n-1} - \frac{k}{m M_0} \left( \varepsilon_{n-1} \right)^2 \right) \Delta \varepsilon_{n-1}^d = 0. \end{aligned}$$

Окончательно кубическое уравнение относительно приращений динамических кривизн ( $\Delta \varepsilon_{n-1}^d$ ) принимает следующий вид:

$$\Delta \varepsilon_{n-1}^d \left[ \frac{k}{3m M_0} \left( \Delta \varepsilon_{n-1}^d \right)^2 + \left( \frac{k}{m M_0} \varepsilon_{n-1} \right) \Delta \varepsilon_{n-1}^d + (\varepsilon_{n-1} - \varepsilon_n) \left( 2 - \frac{k(\varepsilon_{n-1} - \varepsilon_n)}{m M_0} \right) \right] = 0 \quad (5)$$

Для нелинейной диаграммы "M-ε" при m=2 условие (3) приводит к соотношениям:

$$\varepsilon_{n-1}^d - \varepsilon_{n-1}^c > \varepsilon_{n-1}^c - \varepsilon_n^c, M_{n-1}^d < M_{n-1}^c - M_n^c, \quad (6)$$

Для упругого материала при линейной диаграмме, m = 2, M=ε·k, Ф(ε)=k·ε<sup>2</sup>/2 и условии F(aeb)=F(bdc) зависимость (3), записанная в усилиях, принимает вид:

$$\frac{1}{2} \left[ \left( M_{n-1}^d \right)^2 - \left( M_n \right)^2 \right] = M_{n-1} \left( M_{n-1}^d - M_n \right) \quad (7)$$

Откуда следуют равенства

$$\varepsilon_{n-1}^d - \varepsilon_{n-1} = \varepsilon_{n-1} - \varepsilon_n, M_{n-1}^d = 2M_{n-1} - M_n. \quad (8)$$

При m=2 уравнение (5) сводится к квадратному относительно ε<sub>n-1</sub><sup>d</sup>.

При допущении, что между величинами кривизн в этом сечении n-системы и (n-1)-системы при статическом характере нагружения обеих систем существует линейная зависимость вида ε<sub>n-1</sub><sup>d</sup> = q · ε<sub>n</sub>. Тогда величину ε<sub>n-1</sub><sup>d</sup>, можно найти из решения следующего квадратного уравнения:

$$\frac{1}{3\varepsilon_0} \left( \varepsilon_{n-1}^d \right)^2 + \left( \frac{\varepsilon_n - 1}{3\varepsilon_0} \right) \varepsilon_{n-1}^d + \left( \frac{\left( \varepsilon_n \right)^2}{3\varepsilon_0} - \varepsilon_n + 2q\varepsilon_n - \frac{q^2 \left( \varepsilon_n \right)^2}{\varepsilon_0} \right) = 0 \quad (9)$$

В уравнениях (8) и (9) значения кривизн ε<sub>n</sub> и ε<sub>n-1</sub> определяются предварительным расчетом, соответственно, n и (n-1) системы.

Вычисленное значение кривизны ε<sub>n-1</sub><sup>d</sup> в рассматриваемом сечении железобетонного элемента не должно превышать ее предельного значения (ε<sub>0</sub>), определяемого с учетом динамического увеличения пределов прочности материалов.

Предложенные расчетные зависимости удобны для анализа процессов деформирования и разрушения статически неопределимых железобетонных балочных систем при переменном положении нагрузки и запроектных воздействиях, в случае возникновения динамических эффектов в элементах системы от этих воздействий. Опре-

деление напряженно-деформированного состояния различных сечений неразрезной балки можно производить с помощью метода сил в конечно элементной постановке, организовав нелинейный расчет системы методом итераций

**Выводы.** Построены аналитические зависимости для определения обобщенных усилий и приращений динамических кривизн в сечениях железобетонных элементов, которые позволяют исследовать деформирование и разрушение физически и конструктивно нелинейных балочных систем при переменном положении нагрузки и внезапных запроектных воздействиях, представленных в виде выключения из работы отдельных элементов (сечений).

#### Список использованной литературы:

1. Гениев Г.А. О динамических эффектах в стержневых системах из физически нелинейных хрупких материалов / Г.А. Гениев. - М.: Стройиздат, 1999. - С. 23-24. – (Промышленное и гражданское строительство; №9).
2. Гениев, Г.А. Теория прочности бетона и железобетона / Г.А. Гениев, В.И. Киссюк, Г.А.Тюпин. - М.: Стройиздат, 1974. - 314 с.
3. Колчунов В.И. Физические модели сопротивления стержневых элементов железобетонных конструкций: дис. ... доктора техн. наук: 05.23.01 / Владимир Иванович Колчунов. – Киев, 1998. - 397 с.
4. Пирадов К.А. Теоретические и экспериментальные основы механики разрушения бетона и железобетона / К.А. Пирадов. — Тбилиси: Изд-во «Энергия», 1998. - 355 с.
5. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики (статика стержневых систем): учеб. пособие для студентов вузов / [Г.К. Клейн, Н.И. Леонтьев, М.Г. Ванющенко и др.]; под ред. Г.К. Клейна. – [4-е изд., переаб. и доп.]. – М.:Высш.школа, 1980. – 384 с.
6. Городецкий А.С. Приложение метода конечных элементов к физически нелинейным задачам

строительной механики: автореф. дис. на соискание научн. степени. докт. техн. наук: 05.23.17 / А.С. Городецкий. – Киев, 1978. - 34 с.

*Запропоновані розрахункові залежності зручні для аналізу процесів деформування і руйнування статично невизначених залізобетонних балкових систем при змінному положенні навантаження і запроектованих впливах, у разі виникнення динамічних ефектів в елементах системи від цих впливів. Визначення напружено-деформованого стану різних перерізів нерозрізної балки можна проводити за допомогою методу сил в звісно елементної постановці, організувавши нелінійний розрахунок системи методом ітерацій.*

*The proposed settlement depends suitable for the analysis of deformation and fracture of reinforced concrete beam is statically indeterminate systems under variable load and position-design effects, in the case of dynamic effects in the elements of these influences. Determination of the stress-strain state of the different sections of a continuous beam can be produced using the method of forces in the finite element formulation, organizing non-linear calculation of the iteration met.*

Дата надходження в редакцію: 31.05.12 р.  
Рецензент: д.т.н., професор Фомиця Л.М.

УДК 624.016.7

### **ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СТИСЛИВОСТІ ШТУЧНИХ ОСНОВ, ЩО АРМОВАНІ ГРУНТОЦЕМЕНТОМ**

**М.Л. Зоценко**, д.т.н., проф., Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка  
**Є.Г. Косточка**, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка  
**О.П. Новицький**, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

*Описано тривале дослідження механічних характеристик ґрунтоцементу. Наведені результати оцінки стисливості ґрунтів, армованих ґрунтоцементними елементами, квадратними штампами з різним терміном твердіння.*

*Ключові слова: ґрунтоцементні елементи; армування основи; модуль деформації; перевірка стисливості основи.*

**Постановка проблеми.** Армування слабких основ ґрунтоцементними елементами знижує їх стисливість. При розрахунках осідань армованих основ користуються модулем деформації, який визначається як середньо виважена величина за об'ємом між слабким ґрунтом і ґрунтоцементом [1].

Відповідно до ДСТУ Б В.2.1-7-2000. Ґрунти. Польові випробування, визначення модуля деформації ґрунтів у польових умовах досліджень проводиться шляхом статичних випробувань ґрунтів жорсткими круглими штампами діаметром від 25 до 71 см. При визначення модуля деформації армованих основ, в залежності від розміщення у ґрунті жорстких елементів армування, мінімальна довжина сторони квадратного штампу складає 120 см. Коли виникає необхідність використати для цієї мети результати інструментальних спостережень за осіданнями окремих, стрічкових та плитних фундаментів будівель і споруд, маємо справу зі штампами значно більшого розміру різної форми у плані. Тому виникає необхідність уніфікації результатів визначення модуля деформації ґрунтів, які армовані ґрунтоцементом, за даними випробувань основ штампами великих розмірів і спостережень за осіданнями будівель і споруд.

Відомо також, що тужавіння ґрунтоцементу залежить від багатьох факторів, один з них найменш досліджений – це час тужавіння, який розтягається на довгий термін і якісно змінює властивості ґрунтоцементу. Усі поставлені завдання вирішуються масовими експериментальними дослідженнями з наступною статистичною обробкою, частина з яких наведена у даній роботі.

**Аналіз попередніх досліджень.** Дослідженнями, які проведені у середині ХХ сторіччя [2,3,4], було доведено, що розміри і форма площі, за якою зовнішнє навантаження передається на ґрунт, мають суттєвий вплив на розвиток деформацій ґрунтів. Чим більша площа навантаження, тим на більшу глибину розповсюджуються додаткові напруження і, відповідно, більший об'єм ґрунту буде деформовано. Експериментами було доведено, що для круглого штампу, починаючи з діаметра 45 см, простежується пропорційна залежність між його осіданням,  $S$ , і розміром,  $A$ . Для однорідних суглинків, коли навантаження на ґрунт не перевищують межі пропорційності, ця залежність має вигляд:

$$S = ap\sqrt{A} \quad (1)$$

де  $a$  – коефіцієнт пропорційності, який залежить від виду і стану ґрунту;  
 $p$  – питома навантаження на ґрунт;