

Компьютерные технологии позволяют более глубоко проводить научные исследования, полнее учитывать в расчетах физические свойства материалов, взаимодействие элементов пролетного строения, условия работы и характер деформирования элементов.

**Заключение.** 1. Опыт эксплуатации железобетонных конструкций мостовых сооружений показывает, что их надежность и долговечность зависят от большого количества случайных факторов, изменяющихся во времени.

2. Многочисленные обследования мостовых сооружений, проведенные в России, Украине и Беларуси, позволяют с достаточной точностью назначить сроки службы элементов мостов и рекомендовать их для внесения в нормативные документы.

3. В настоящее время наиболее актуальным для Республики Беларусь является не строительство новых, а обновление путем реконструкции эксплуатируемых мостов.

4. Остаточный ресурс и прогнозирование долговечности железобетонных мостов вычисляются с учетом изменения прочностных характеристик и деформационных свойств бетона и арматуры с течением времени, образования трещин в элементах пролетного строения и др.

#### **Список цитированных источников**

1. Бондаренко, В.М. Надежность строительных конструкций и мостов / В.М. Бондаренко, Л.И. Иосилевский, В.П. Чирков, – М.: Российская академия архитектуры и строительных наук, 1996. – 220 с.

2. Диагностика транспортных сооружений: учеб. пособие для вузов / И.Г. Овчинников [и др.]; под общ. ред. И.Г. Овчинникова - Саратов: Саратов гос. техн. ун-т, 1999. – 184 с.

3. Мости: конструкції та напінність / Й.Й. Лучко [и др.]; под общ. ред. В.В. Панасюка и Й.Й. Лучко – Львів: Каменяр, 2005 – 989 с.

4. Пастушков, В.Г. Дефекты и повреждения конструкции проезжей части мостов и оценка их влияния на долговечность сооружения / В.Г. Пастушков // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сб. трудов XII Республиканского научно-технического семинара - Могилев, 2005. – С. 349–354.

5. П2-2000 к СНиП 3.06.07-86: Определение грузоподъемности железобетонных и сталежелезобетонных балочных пролетных строений автодорожных мостов / Комитет по автомобильным дорогам при Министерстве транспорта и коммуникаций Республики Беларусь – Минск: РУП «БелдорНИИ», 2000 – 296 с.

6. Пастушков, В.Г. Оценка изменения напряженно-деформированного состояния конструкции проезжей части мостовых сооружений с учетом фактора времени / В.Г. Пастушков // Вестник академии архитектуры. – 2006. – № 1, – С. 33–38.

УДК 624.012

### **К РАСЧЕТУ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Семенюк С. Д., Болошенко Ю. Г.**

**Введение.** В соответствии с СНБ 5.03.01-02 [1] существуют две основные методики расчета нормальных сечений железобетонных элементов: альтернативная модель и деформационная модель.

Альтернативная модель расчета железобетонных конструкций по прочности сечений, нормальных к продольной оси, производится по предельным усилиям с использованием уравнения равновесия всех продольных сил, действующих в рассматриваемом сечении конструкции, и уравнений равновесия моментов относительно выбранных осей при расчетных сопротивлениях материалов. При этом эпюра напряжений принимается в виде прямоугольника (рисунок 1, а) [1].

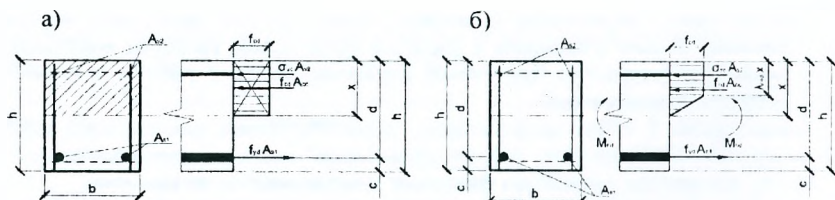


Рисунок 1 – К расчету нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов:  
а) по альтернативной модели; б) по упруго-пластической модели

Деформационная модель определения несущей способности железобетонного элемента по нормальному сечению предусматривает шаговый метод последовательных нагружений, на каждом этапе которого реализован итерационный процесс вычисления относительных деформаций в элементарных площадках [2].

При расчете прочности сечений железобетонных конструкций допускается использовать эквивалентную упрощенную билинейную диаграмму деформирования бетона при сжатии согласно [1]. В соответствии с этим в упруго-пластической модели (УПМ) за основу расчета принята трапециевидная эпюра напряжений в сжатой зоне (рисунок 1, б).

Определение предельных усилий в нормальных сечениях по упруго-пластической модели основывается на следующих допущениях: связь между напряжениями и деформациями бетона, а также напряжения и деформации арматуры принимают в виде билинейных диаграмм деформирования; для средних деформаций бетона и арматуры считается справедливым линейный закон распределения по высоте сечений; в качестве расчетного принимают сечение со средней высотой сжатой зоны «х», соответствующей средним деформациям; сопротивление расчетного сечения будет исчерпано, если деформации крайних сжатых волокон бетона или растянутой арматуры достигают предельных значений [3].

Проверка прочности нормальных сечений производится из условия

$$M_u \leq M_{sd} = 0,5f_{ck} b x [(1 + \lambda_c) d - 0,33x \cdot (1 + \lambda_c + \lambda_c^2)] + \sigma_{sc} A_{s2} (d - c'), \quad (1)$$

где  $M_{sd}$  – внешний изгибающий момент, кН·м;  $M_u$  – предельный изгибающий момент, кН м;  $f_{ck}$  – сопротивление бетона сжатию, МПа;  $b$  – ширина сечения, мм;  $x$  – высота сжатой зоны сечения, мм;  $d$  – рабочая высота сечения, мм;  $\sigma_{sc}$  – напряжения в арматуре сжатой зоны, МПа;  $A_{s2}$  – площадь поперечного сечения арматуры сжатой зоны, мм<sup>2</sup>;  $\lambda_c$  – коэффициент пластичности для бетона, вычисляемый по формуле (2) при проектировании конструкций, по формуле (3) при обработке экспериментальных данных.

$$\lambda_c = 0,93 - 0,014 f_{ck}, \quad (2)$$

$$\lambda_c = 0,97 - 0,0077 f_{ck}. \quad (3)$$

Высоту сжатой зоны «х» находят из уравнения

$$A_1 \cdot x^2 + A_2 \cdot x + A_3 = 0; \quad (4)$$

где коэффициенты  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  рассчитываются по формулам:

$$A_1 = 0,5 b (1 - \lambda_c^2); \quad (5)$$

$$A_2 = \alpha_m \cdot (A_{s1} + A_{sc}), \quad (6)$$

$$A_3 = -\alpha_m \cdot A_{s1} \cdot d. \quad (7)$$

Во всех случаях должно соблюдаться условие

$$\frac{\alpha_m f_{ck} d}{\alpha_m f_{ck} + 0,02 E_{cd} (1 - \lambda_c)} \leq x \leq \frac{\alpha_m f_{ck} d}{\alpha_m f_{ck} + f_{yk} (1 - \lambda_c)}. \quad (8)$$

При проведении экспериментальных исследований в качестве опытных образцов для исследования работы железобетонных изгибаемых элементов были приняты железобетонные балки, которые нагружались двумя сосредоточенными силами, приложенными в пролете. В расчете по упруго-пластической модели напряжения в растянутой арматуре принимаются по уравнению (9), напряжения в сжатой арматуре  $\sigma_{sc}$  рассчитываются по формуле (10) [5]. При расчете по альтернативной модели  $\sigma_{sc} \approx 4 \alpha_m f_{ck}$  [4]. Использование этих формул целесообразно в том случае, если сечение перearмировано или в качестве рабочей принята высокопрочная арматура.

$$\sigma_s = f_{st} = \frac{\alpha_m \cdot f_{ck} \cdot (d - x)}{x \cdot (1 - \lambda_c)}; \quad (9)$$

$$\sigma_{sc} = \frac{\alpha_m \cdot f_{st}}{1 - \lambda_c}. \quad (10)$$

При расчете по альтернативной модели напряжения в продольной арматуре могут быть рассчитаны по формуле (11) с учетом полученной по экспериментальным данным высоты сжатой зоны «х» (значение модуля упругости бетона принимается по результатам линейно-корреляционного анализа [5, 6, 7] в ГПа):

$$\sigma_s = \frac{f_{ck} \cdot 10^3 \cdot (d - x)}{E_c x \cdot (35 + 14 f_{ck})}. \quad (11)$$

Напряжения в сжатом бетоне  $\sigma_c$  и в сжатой арматуре  $\sigma_{sc}$  вычисляются по формулам (12), (13) соответственно [5]:

$$\sigma_c = \frac{\varepsilon_u (1 - \lambda_c) E_c x}{d - x}, \quad (12)$$

$$\sigma_{sc} = \frac{\alpha_m \sigma_c (x - c')}{x (1 - \lambda_c)}, \quad (13)$$

где  $\varepsilon_u$  – предельные деформации растянутой арматуры:

$$\varepsilon_u = \frac{0,8 \sigma_s}{E_s}. \quad (14)$$

По результатам расчета по деформационной модели были построены график зависимости «Напряжения – относительные деформации» (рисунок 2) и эпюра деформаций в балке (рисунок 3).

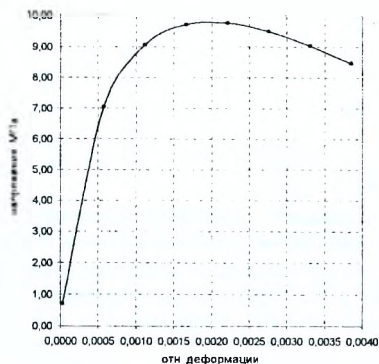
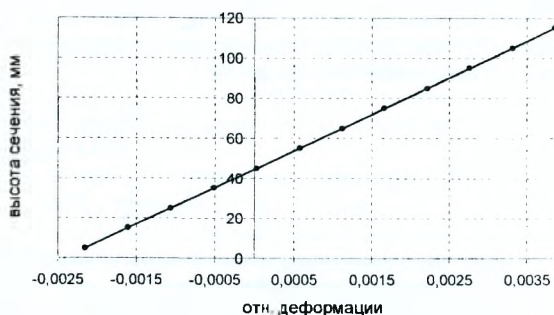


Рисунок 2 – Зависимость «напряжения – относительные деформации» для балки при расчете по деформационной модели для балки Б 2-1

Рисунок 3 – Эпюра деформаций для балки при расчете по деформационной модели для балки Б 2-1



Результаты расчета по альтернативной, деформационной и упруго-пластической моделям, а также результаты обработки экспериментальных данных представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета по альтернативной, упруго-пластической и деформационной моделям

Образец	Модель расчета / экспериментальные данные	Сравниваемые параметры					
		высота сжатой зоны х, мм	несущая способность М, кН м	разрушающая нагрузка $R_{разр}$ , кН	отклонение от экспериментальных данных, %		
					х	М	$R_{разр}$
Базовая балка Б 2-1	Альтернативная	42,3	5,41	24,3	15,4	13,2	13,2
	УПМ	53,7	6,25	28,1	7,5	0,32	0,32
	Деформационная	58,2	5,86	26,5	15	5,9	5,9
	Эксперимент	50	6,23	28,0	–	–	–
Базовая балка Б 2-2	Альтернативная	45	5,88	26,4	12,8	10,4	10,4
	УПМ	55	6,56	30,2	8,5	2,4	2,4
	Деформационная	60,9	6,25	28,1	16,2	4,7	4,7
	Эксперимент	51	6,56	29,5	–	–	–
Базовая балка Б 1-2	Альтернативная	52	4,15	19,8	10,1	12,2	12,2
	УПМ	58,3	5,03	23,9	0,5	6,4	6,4
	Деформационная	68	4,85	23,1	15	2,7	2,7
	Эксперимент	58	4,73	22,5	–	–	–
Базовая балка Б 1-1	Альтернативная	98	5,7	17,0	24,3	4,8	4,8
	УПМ	67	5,41	16,1	2,8	0,7	0,7
	Деформационная	75	5,29	15,8	11,3	2,8	2,8
	Эксперимент	67	5,44	16,3	–	–	–

Сравнение эмпирических и теоретических данных позволяет сделать вывод о том, что метод расчета сечений, нормальных к продольной оси, для изгибаемых элементов по упруго-пластической и деформационной моделям достаточно точно отражает действительное состояние конструкции, позволяет оценить ее несущую способность и дает при расчете базовых образцов отклонение до 10 % от экспериментальных данных.

Приведенная методика расчета хорошо подходит для расчета эксплуатируемых изгибаемых железобетонных конструкций, так как при обследовании можно замерить геометрические характеристики сечения, неразрушающими методами определить фактическое сопротивление бетона, но нет необходимости устанавливать фактическое напряжение в арматуре, которое может быть вычислено по аналитическим формулам. Это особенно актуально для перearмированных сечений, когда напряжения в арматуре не достигают предельных значений и разрушение конструкции происходит по бетону сжатой зоны или по наклонному сечению.

#### Список цитированных источников

1. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции. – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2003. – 143 с.
2. Пособие П 1-98 к СНиП 2.03.01-84. Усиление железобетонных конструкций. – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 1998. – 190 с.
3. Семенов, С. Д. Железобетонные пространственные фундаменты жилых и гражданских зданий на неравномерно деформируемом основании: монография / С. Д. Семенов. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2003. – 269 с.: ил.
4. Мурашев, В. И. Железобетонные конструкции / В. И. Мурашев, Э. Е. Сигалов, В. Н. Байков. – М.: Госстройиздат, 1962. – 658 с.: ил.
5. Голишев, О. Б. Курс лекции з основ розрахунку будівельних конструкцій з опору залізобетону / О. Б. Голишев, А. М. Бамбура. – К.: Логос, 2004. – 340 с.
6. Семенов, С. Д. К определению модуля упругости и упруго-пластических характеристик бетона при кратковременном центральном сжатии // Вестник Брестского государственного технического университета. – Брест, 2001. – № 1. – С. 40 – 44.
7. Научно-методический центр «Электронная книга БГУ» [Электронный ресурс]: Блохин А. В. Теория эксперимента: Курс лекций в двух частях: Ч. 1. – Электрон. текст. дан. (1,1 Мб). – Минск, 2003. – Режим доступа: <http://anubis.bsu.by/publications/elresources/Chemistry/blouhin1.pdf>. – Электрон версия печ. публикации, 2002.

УДК 624.01:023.87

### РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ЛИСТОВОЙ ФАСОННОЙ АРМАТУРЫ КНЭСК НА ЕГО НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

Семенов С.Д., Кузменко И.М., Медведев В.Н.

**Введение.** Высокий уровень развития технического прогресса в строительной отрасли требует создания новых, более долговечных, эффективных и надежных строительных конструкций, позволяющих рационально расходовать выделенные ресурсы, сокращать сроки строительства.

В Белорусско-Российском университете был разработан композитный несущий элемент строительных конструкций (КНЭСК) [1,2]. В работах [3-5] дано описание элемента (рис. 1) и показаны области его применения в сооружениях различного назначения.