

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 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 і 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.

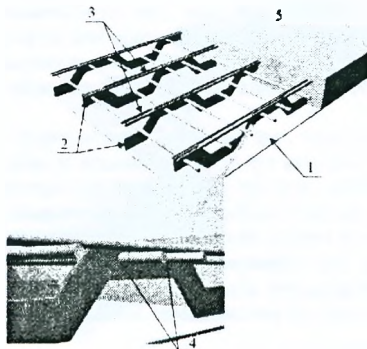


Рисунок 1 – Общий вид КНЭСК

КНЭСК состоит из стальной и бетонной составляющих. В свою очередь стальная составляющая представляет собой стальной лист (1), к которому приварены фасонная листовая (2) и уложена продольная АРМатура (3) на приваренную поперечную (4). Стальная составляющая полностью изготавливается в заводских условиях в виде модулей и приваривается на месте монтажа к несущим конструкциям сооружения. Бетонирование может быть осуществлено после полного монтажа КНЭСК.

В настоящее время работа железобетонных элементов с внешним листовым армированием (к которым можно отнести КНЭСК), является достаточно изученной, но такие уникальные, как КНЭСК, требуют дополнительных исследований по учету влияния составляющих на несущую способность

**Основная часть.** Для изучения влияния геометрических характеристик поперечного сечения и физико-механических свойств бетона на прочность нормальных и наклонных сечений КНЭСК подготовлен план многофакторного натурного эксперимента с учетом масштабного фактора.

Целью экспериментальных исследований являются:

1. Адаптация существующей методики расчета конструкций с внешним листовым армированием к КНЭСК.

2. Подбор параметров поперечного сечения и физико-механических свойств материалов для минимизации материальных ресурсов при возведении конструкций с использованием КНЭСК.

Для обеспечения корректности, перенесения механических характеристик бетона полномасштабной конструкции на уменьшенную модель, необходимо выполнение условия [3]:

$$L > L_0, \quad (1)$$

где  $L$  – меньший размер балочной конструкции,

$$L_0 = 5(d_p + a_m). \quad (2)$$

Здесь  $d_p$  – диаметр крупного заполнителя,

$a_m$  – одна средняя прослойка матрицы.

Для выполнения условия корректности диаметр крупного заполнителя ( $d_p$ ) не должен превышать 20 мм, исходя из этого условия, для получения бетона был использован щебень фракцией 10-20 мм.

Состав бетонной смеси разработан в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами, регламентирующими подбор состава для бетонных смесей, опираясь при этом на опыт использования бетона как в отечественной практике, так и за пределами РФ.

В качестве опытных образцов для экспериментальных исследований были выбраны балочные элементы с размерами 1400x150x100 мм, армированные стальным листом толщиной 2 мм с размерами 1400x100x2 мм.

Конструкцию необходимо загружать постепенно, ступенями, не превышающими 10% от разрушающей нагрузки (разрушающая нагрузка предварительно принимается на основании численного эксперимента [4], до условного уровня эксплуатации, равного 0,8Rразр. После этого величину ступени нужно уменьшить до 5%. Для определения численного значения пластических деформаций, после каждой ступени приложения нагрузки, при значении нагрузки 0,8Rразр, необходимо делать выдержку 30 минут.

В процессе проведения экспериментальных исследований КНЭСК измерения деформаций в балочных элементах планируется фиксировать датчиками омического сопротивления и индикаторами часового типа, измерение прогибов опытных образцов и деформаций в призмах индикаторами часового.

Исходя из значений факторов и интервалов варьирования, для упрощения дальнейших вычислений факторы переводятся в нормализованный масштаб:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i} \quad (3)$$

На основе анализа априорной информации предполагается, что функция отклика аппроксимируется полным квадратным полиномом

$$Y = a_0 + \sum_{j=1}^k a_j \cdot x_j + \sum_{j=1}^k \sum_{r=1}^k a_{jr} \cdot x_j \cdot x_r, \quad (4)$$

где Y – расчетное значение функции отклика;

$a_0$  – свободный член;

$a_j$  – коэффициент при линейной зависимости;

$a_{jr}$  – коэффициент при парном взаимодействии факторов;

$x_j, x_r$  – исследуемые независимые переменные.

Для построения плана эксперимента выбрана матрица  $B_4$  для четырехфакторного эксперимента, содержащая ядро полнофакторного эксперимента ПФЭ $2^n$  ( $n$  – число факторов).

При выборе факторов варьирования необходимо учитывать отечественный и зарубежный исследовательский опыт в области конструкций с внешним листовым армированием. Так, к настоящему времени глубоко изучено влияние величины внешнего армирования, прочности бетона, высоты поперечного сечения, продольного стержневого армирования в сжатой зоне, что нашло свое отражение в научной литературе, монографиях и нормативных документах; следует уделить особое внимание влиянию геометрических характеристик фасонной арматуры на несущую способность конструкции в целом, т.к. влияние этого элемента является неизученным. Были приняты факторы, имеющие относительные значения, оценивающие влияние величин друг на друга, использование которых позволяет уменьшить количество проводимых опытов. Исходя из вышеперечисленных предпосылок, в качестве факторов варьирования для непрерывного (рис. 2) фасонного армирования были приняты:

$x_{11}$  – толщина фасонной арматуры 1,5...3 мм;

$x_{12}$  – высота фасонной арматуры  $h_0$  70...130;

$x_{13}$  – высота изгиба фасонной арматуры  $b$ : 40... 60;

$x_{14}$  – шаг волны  $L_f$ : 150...250

нулевой уровень факторов принимается по следующей формуле [5] (значения приведены в относительных единицах и мм):

$$X_{ij}^0 = \frac{X_{j\max} - X_{j\min}}{2}; \quad (5)$$

где:

- i – номер эксперимента;
- j – номер фактора варьирования.

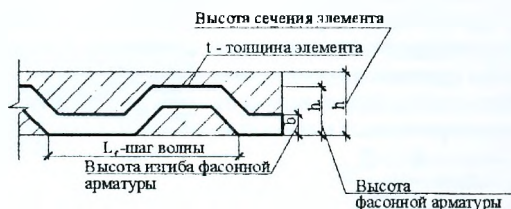


Рисунок 2 – Типы исследуемого фасонного армирования, факторы варьирования КНЭСК

Таблица 1 – Исследуемые факторы, уровни и интервалы варьирования

Исследуемый фактор	Обозначение	Интервал варьирования	Уровни варьирования		
			-1	0	+1
толщина фасонной арматуры (мм)	$x_1$	1	1	2	3
высота фасонной арматуры (мм)	$X_2$	30	70	100	130
высота изгиба фасонной арматуры (мм)	$X_3$	10	40	50	60
шаг волны (мм)	$X_4$	50	150	200	250

Матрица планирования четырехфакторной модели, на основании которой должны быть проведены экспериментальные исследования, будет иметь вид, приведенный в табл. 2.

Таблица 2 – Матрица планирования четырехфакторной модели

№ опыта	Факторы в кодированных обозначениях				Факторы в натуральном выражении				Примечания
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$t$ , мм	$h_0$ , мм	$b$ , мм	$L_f$ , мм	
1	0	0	0	0	2	100	50	200	Ядро плана эксперимента
2	+1	+1	+1	+1	3	130	60	250	Центр плана эксперимента
3	-1	+1	+1	-1	1	130	60	150	
4	+1	-1	+1	-1	3	70	60	150	
5	-1	-1	+1	+1	1	70	60	250	
6	+1	+1	-1	-1	3	130	40	150	
7	-1	+1	-1	+1	1	130	40	250	
8	+1	-1	-1	+1	3	70	40	250	
9	-1	-1	-1	-1	1	70	40	150	
10	0	0	0	+1	2	100	50	250	Плечо плана эксперимента
11	0	0	0	-1	2	100	50	150	
12	0	0	+1	0	2	100	60	200	
13	0	0	-1	0	2	100	40	200	
14	0	+1	0	0	2	130	50	200	
15	0	-1	0	0	2	70	50	200	
16	+1	0	0	0	3	100	50	200	
17	-1	0	0	0	1	100	50	200	

Порядок опытов выбран на основании таблицы случайных чисел [6], что исключает влияние на функцию отклика систематических ошибок. Количество повторных опытов определяли на основании поисковых опытов в соответствии с методикой, изложенной в [7]. Исходя из гипотезы о нормальном законе распределения ошибок эксперимента, при условии  $\sigma_p \geq \sigma_1$ , число повторных измерений согласно предъявляемому условию определяется из неравенства:

$$\left( Y_i - Y \right) < \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

где  $Y_i$  – истинное значение измеряемой величины;

$Y$  – среднее значение измеряемой величины;

$S$  – среднее квадратичное отклонение.

$t$  – нормированное отклонение (коэффициент Стьюдента);

$k$  – число повторных опытов.

Проверка адекватности полученных уравнений регрессии проводили по критерию Фишера.

**Заключение.** В данной статье приведено описание экспериментальных образцов, описана методика проведения экспериментальных исследований, которые позволят решить следующий круг задач:

1. Обоснование и определение геометрических размеров опытных образцов.
2. Изучение влияния размеров фасонной арматуры на прочность, деформативность и трещиностойкость конструкции.
3. Изучение влияния геометрических размеров элемента на несущую способность.
4. Изучение влияния геометрических размеров фасонной арматуры на сцепление бетона со стальным опорным листом.
5. Определение характера предельного состояния.
6. Определение значимости влияния фактора на несущую способность.
7. Определение деформативности образцов в целом и деформативности контакта между листом и бетоном.

#### Список цитированных источников

1. Композитный несущий элемент строительных конструкций. Патент РФ № 4082. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений 29.07.1997. Выдан 29.06.2001. Кузменко И.М., Фридкин В.М., Носарев А.В. и др.
2. Композитный несущий элемент строительных конструкций. Патент РФ № 2181406. Опубликовано 20.04.2002, бюллетень № 11. Приоритет с 29.07.1997. Кузменко И.М., Фридкин В.М., Носарев А.В. и др.
3. Карпенко, Н.И. Обице модели механики железобетона – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
4. Семенюк, С.Д. Численные исследования работы балочных конструкций с внешним листовым армированием / С.Д. Семенюк, В.Н. Медведев // Ресурсоэкономни материали, конструкци, будвил та споруди.– Вып 17. – Ровно, 2008. – С. 256–264.
5. Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем. Мн.: ДизайнПРО, – 1997. – 640 с.
6. Хан, Г. Статистические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шапиро. – М.: Мир, 1969. – 395 с.
7. Хартман, К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шеффер. – М.: Мир, 1977. – 552 с.