

Г.П.Пастушков, В.И.Никитин, В.К.Степанюк

УДК 624.072.2.001:891.51

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ
ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОВТОРНЫХ НАГРУЖЕНИЯХ

В предварительно напряженных изгибаемых конструкциях с высокопрочной арматурой по СНиП П-В I-62* не допускается появление трещин при полных нормативных нагрузках и требуется проверка условия:

$$M_T \geq M''$$

где M_T — момент, воспринимаемый сечением перед образованием трещин;

M'' — момент от внешних нагрузок.

Проектом новых норм несколько изменены требования к трещиностойкости конструкций. Для конструкций II категории трещиностойкости допускается ограниченное кратковременное раскрытие трещин при действии нагрузок, соответствующих полным нормативным, и полное закрытие трещин при действии постоянных нагрузок. Новые требования норм обуславливают необходимость проведения экспериментальных исследований различных видов конструкций с трещинами, образовавшимися от p^n и закрывшихся при снижении нагрузки.

Для таких конструкций требуется знать момент "полного" закрытия трещин $M_{з.т}$. Однако для некоторых элементов невозможно достичь полного закрытия трещин или их закрытие происходит практически после снятия всей нагрузки. С учетом последних исследований предлагается для конструкций, находящихся в среднеагрессивных средах и на открытом воздухе, считать трещины условно закрытыми при $C_T = 0,015$ мм. В этом случае арматура не корродирует. Поэтому, вероятно, следует рассмотреть момент условного закрытия трещин до определенной величины, который в дальнейшем будем обозначать $M_{у.з.т}$.

Таким образом, учет явлений трещинообразования значительно усложняется. При этом следует иметь ввиду, что в течение срока службы конструкция неоднократно загружается полной нормативной нагрузкой и, следовательно, работает в условиях повторных нагружений. Ширина раскрытия трещин в таких условиях от полной нормативной нагрузки может заметно увеличиваться, а моменты $M_{з.т}$ и $M_{у.з.т}$ — снижаться.

Целью настоящего исследования является изучение связи между трещиностойкостью преднапряженных аглопоритобетонных балок в нормальных сечениях и основными факторами, влияющими на работу элементов.

Трещинообразование в преднапряженных изгибаемых элементах определяется многими причинами. Метод проведения эксперимента с последовательным изменением одного из факторов при неизменных остальных для многофакторной задачи малоэффективен и практически не выполним.

Поэтому для решения данной задачи используются идеи рационального планирования многофакторных экспериментов, которые

позволяют наметить четкую стратегию исследования на всех его этапах и повисить их достоверность. Для построения математической модели явления обычно используется хорошо разработанное планирование первого и второго порядка. Однако даже математические модели второго порядка адекватно описывают действительные процессы только в довольно узком диапазоне изменения факторов. Стремление получить математическую модель, адекватную в широком диапазоне изменения управляемых факторов, заставляет использовать менее формализованную методику построения комбинационных схем с последующей обработкой данных, полученных в результате проведения опытов по этим схемам [1]. Основными факторами, от которых зависят описываемые явления и которые получены по данным предыдущих исследований и литературным источникам, являются следующие: уровень загрузки; величина предельного напряжения арматуры; процент армирования; прочность бетона; вид арматуры, ее диаметр и др.

Нами при планировании экспериментов рассматриваются первые четыре из указанных факторов. Другие значимые факторы, такие, как вид арматуры, условный предел текучести, диаметр арматуры, геометрические размеры сечения для всех образцов принимались одинаковыми.

Итак, для анализа было отобрано четыре управляемых фактора:

X_1 - M_1, M_2, M_3 - уровни загрузки;

X_2 - $\sigma_{г.0}$ - напряжение в бетоне при обжатии на уровне центра тяжести продольной арматуры, кгс/см²;

X_3 - μ - процент армирования, %;

X_4 - R - прочность бетона, кгс/см².

Для каждого фактора было установлено по три различных уровня (табл. I).

Таблица I

Факторы	Уровни факторов			Интервал варьирования
	1	2	3	
X_1	M_1	M_2	M_3	-
X_2	40	60	80	20
X_3	0,30	0,45	0,60	0,15
X_4	300	400	500	100

При традиционном методе ведения экспериментов для получения зависимостей между σ_T , M_T , M_{3T} и вышеуказанными факторами, каждый из которых рассматривается на трех уровнях, число необходимых опытов равняется числу возможных сочетаний $3^4 = 81$. Графически это соответствует тому, что будут заполнены все клеточки комбинационного квадрата (рис. I). По методу

	X_4	I			II			III		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
I	1									
	2									
	3									
II	1									
	2									
	3									
III	1									
	2									
	3									

Рис. I. Схема комбинационного квадрата для четырех факторов и трех уровней каждого из них

рационального планирования, изложенного в работе [1], необходимо рассмотреть лишь случаи, когда в каждой строке или столбце комбинационного квадрата будет только по одному сочетанию факторов (см. рис. I, заштрихованные клеточки). Основная трудность при построении комбинационного квадрата состоит в том, что необходимо подобрать такой из них, в котором любое из сочетаний факторов (заштрихованные клеточки) можно было бы реализовать в эксперименте.

Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо выполнить девять экспериментов, в которых значения факторов находятся на уровнях, соответствующих положению заштрихованных квадратов. Например, наличие заштрихованного квадрата в нижней строке указывает на необходимость определить векторы наблюдения, когда изгибающий момент в балке находится на третьем уровне загрузки M_3 , напряжение в бетоне при обжатии $\sigma_{b.0} = 80 \text{ кгс/см}^2$, процент армирования $\mu = 0,45\%$, прочность бетона $R = 500 \text{ кгс/см}^2$.

Векторами наблюдения являются:

M_T — величина изгибающего момента трещиностойкости нормального сечения;

σ_T — ширина раскрытия трещин на уровне продольной арматуры при нагрузке, соответствующей уровню загрузки;

$M_{1,t}$ - величина изгибающего момента, при котором происходит "полное" закрытие трещин;

$M_{1,t}$ - величина изгибающего момента, соответствующая условному закрытию трещин;

M_p - величина изгибающего момента, при котором происходит разрушение балки.

Следует отметить, что методика обработки опытных данных, полученных по комбинационной схеме, позволяет оценить влияние каждого фактора на всех уровнях по трем замерам, а при дублировании опытов - по шести.

Исследованию подвергались 18 балок, армированных напрягаемой арматурой диаметром 5 мм из стали класса Вр-П. Сечение балок 12х24 см, длина 300 см. Натяжение арматуры осуществлялось на упоры.

Балки изготавливались из аглопоритобетона с применением портландцемента марки 500, кварцевого песка с модулем крупности 2,4 и аглопорита фракций 5-10 и 10-20 мм. Вместе с балками изготавливались кубики с ребром 15 см и призмы размером 15х15х60 см. Кубиковая и призмная прочность бетона определялась во время отпуска арматуры, а также при испытании опытных балок. Испытание образцов осуществлялось на балочном испытателе с регулятором скорости загрузки. Нагрузка прикладывалась в третях пролета. Опытные образцы подвергались повторному нагружению с количеством циклов до 50 на принятом уровне нагружения. Часть образцов испытывалась одноразовой нагрузкой.

Л и т е р а т у р а

И. ПРОТОДЬЯКОВЫХ М.М., ТЕДЕР Р.И. Методика рационального планирования экспериментов. М., "Наука", 1970.