

Министерство высшего и среднего специального образования СССР
ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ ДЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

СОЛОВЬЕВ Борис Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОСВЕННОЙ АРМАТУРЫ В БЕТОНЕ
НА УЧАСТКЕ АНКЕРОВКИ КАНАТА К3х7(3)

Специальность 05.23.01 - "Строительные конструкции"

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск-1973

Работа выполнена на кафедре железобетонных конструкций Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор А.А.Оатул.

Научный консультант – кандидат технических наук, доцент Ю.В.Максимов.

Официальные оппоненты: доктор технических наук А.Б.Голышев; кандидат технических наук Б.Я.Рискинд.

Ведущее предприятие – трест "Челяметаллургстрой" Главмехуралстроя Минтякстроя СССР г.Челябинск.

Автореферат разослан "15" мая 1973 г.

Защита диссертации состоится 20 июня 1973 года, в 15 час., в 428 ауд. на заседании Совета по присуждению ученых степеней инженерно-строительного факультета ЧПИ имени Ленинского комсомола (454044, г.Челябинск-44, проспект им.В.И.Ленина, 76, главный корпус, тел. 39-39-64).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотекe института.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Ученого Совета или прислать отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью.

УЧЕНЫМ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

доцент, кандидат технических наук

 (В.В.Капранов).

Директивы XXIV съезда Коммунистической партии Советского Союза отмечают, что в осуществлении программы пятилетнего плана 1971-1975 годов существенную роль будет играть повышение уровня индустриализации строительства, увеличение степени заводской готовности строительных конструкций и деталей, обеспечение массового применения новых эффективных материалов.

Одним из основных путей повышения эффективности предварительно напряженных конструкций является применение рациональных видов их армирования, чем в значительной степени определяется стоимость и трудоемкость изготовления изделий.

Совершенствование армирования идет по пути повышения механической прочности арматуры, что значительно снижает ее расход на изготовление железобетонных изделий. Перспективными видами арматуры являются термически упрочненные стержни, холоднотянутая проволока и канаты.

Возможность применения мощных арматурных канатов с высокими механическими свойствами в качестве самозанкеривающейся арматуры будет зависеть от того, сумеет ли защитный слой бетона выдержать растущее поперечное давление, приводящее к образованию продольных трещин.

Появление этих трещин в процессе передачи усилия с арматуры на бетон опасно, так как эти трещины снижают сцепление арматуры с бетоном, а при действии внешней нагрузки развиваются и могут соединяться с косыми трещинами, вызывая разрушения опорных участков по наклонному сечению. Создается возможность коррозии напрягаемой арматуры.

В случае прядей это явление мало изучено, а для канатной арматуры действие поперечного давления почти не исследовано.

Для борьбы с этим явлением применяют косвенное армирование участков анкеровки. Однако в СН и П П-В.1-62^к нет рекомендаций по определению участка анкеровки канатов в бетоне и по косвенному армированию опорных участков элементов, армированных канатами.

Целью диссертации является экспериментальное исследование работы косвенной арматуры на участке анкеровки каната КЗх7(3) в бетоне, исследование трещиностойкости и прочности защитного слоя бетона при его раскалывании распором каната КЗх7(3), ус-

тановление длины зоны анкеровки канатов К3х7(3) и разработка рекомендаций по расчету косвенной арматуры на этом участке.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения, изложенных на 185 страницах машинописного текста и содержит 83 рисунка и 36 таблиц. В список использованной литературы входит 122 отечественных и 14 зарубежных наименований.

Во введении обосновывается необходимость проведения экспериментальных исследований работы косвенной арматуры на участке анкеровки каната К3х7(3) в бетоне.

В первой главе рассматривается механизм сцепления арматуры с бетоном, анализируются основные экспериментальные и теоретические исследования, характеризующие силовое взаимодействие арматуры с бетоном в зоне анкеровки. Выделена и показана роль поперечного давления в сцеплении арматуры с бетоном.

Как в СССР, так и за рубежом полные напряжения сцепления σ многие исследователи условно раскладывают на касательные напряжения сцепления τ и напряжения нормальные к оси арматуры ρ (поперечное давление арматуры на бетон). Равнодействующую напряжений ρ , собранную на определенном участке, называют распором.

Составляющую ρ принято рассматривать как самостоятельный силовой фактор и связывать его величину с величиной τ . Так, поступали И.М.Холмянский, Г.Рей, И.Санаар и др.

В главе дан обзор основных отечественных и зарубежных исследований силового поперечного давления арматуры на бетон (распора) и эффективности косвенного армирования.

С появлением стержней периодического профиля и витой арматуры стало ясным, что их совместная работа с бетоном сопровождается развитием распорных сил, способных расколоть защитный слой бетона.

Еще Е.Мерш в 1904 году показал, что постановка спиральной косвенной арматуры улучшает сцепление арматуры с бетоном.

Наличие распора у арматур периодического профиля и необходимость устройства косвенного армирования для увеличения сцепления отмечали в 1933-1939 годах Ф.Эмпергер и В.М.Мурашев.

Экспериментально-теоретические исследования эффективности работы косвенной арматуры в последние годы выполнены многими исследователями (Т.А.Астровой, Т.Гарам, И.И.Додоновым, В.К.Кухле).

Однако, полученные экспериментальные данные базируются на исследованиях, где работа косвенной арматуры оценивалась лишь косвенно, то есть по поведению основной арматуры и бетона.

М.М.Холмянским и сотрудниками института ВНИИжелезобетон проведен углубленный анализ на лабораторных образцах механизма появления трещин раскола, выхода их на поверхность и прочности сцепления. Однако для практического применения и реального конструирования косвенного армирования железобетонных конструкций необходимо увязать результаты этих работ с фактической работой косвенной арматуры.

Наибольший интерес представляют исследования работы косвенной арматуры, выполненные Ю.Л.Изотовым, В.А.Клевцовым, Р.И.Надыршиным на образцах, армированных пряжами и периодической арматурой.

Особое значение этот вопрос приобретает для канатной арматуры, которая передает на бетон большие распорные силы. Ее сцепление с бетоном еще сильнее, чем у других арматур, определяется способностью защитного слоя (или косвенной арматуры) воспринимать этот распор. Однако, в литературе нет сведений о работах, проведенных с целью исследований распорности канатов.

Таким образом, несмотря на многочисленные экспериментальные, экспериментально-теоретические и теоретические исследования участка анкеровки арматуры в бетоне и эффективности косвенного армирования его, многие стороны этой проблемы далеки от своего решения, а что касается канатной арматуры, то этот вопрос практически не изучен.

Во второй главе диссертации приведены результаты исследования физико-механических свойств канатов КЗх7(3).

В начале главы описана проделанная работа совместно с Ю.В.Максимовым по нахождению оптимальной конструкции каната КЗх7(3) и приведены требования временных технических условий, по которым изготовлены эти канаты на БМК.

Лабораторные исследования канатов КЗх7(3) проведены в 1965-1972 годах; исследовано два типа канатов КЗх7(3), отличающихся шагом свивки (табл. I).

Механические свойства проволок определяли по стандартной методике испытания арматурных сталей; длина образцов проволок была равна 500 мм.

Механические свойства канатов в агрегатном состоянии определяли на образцах длиной 1500 мм, 3000 мм.

Были приняты два режима испытания с целью более полного изучения деформативных свойств и получения стабильных механических характеристик канатов.

Режим 1 - предварительное нагружение и разгрузка каната усилием 25% от разрывного усилия $R_{\text{разр}}$, после чего производили поэтапное нагружение до разрыва.

Режим 2 - предусматривал перед испытанием предварительную вытяжку каната усилием, равным 60, 75 и 85% от $R_{\text{разр}}$. Режим 2 позволил стабилизировать характеристики каната и приблизить его работу к действительным условиям в предварительно нагруженных конструкциях. Все образцы канатов, испытанных по режиму 2, нагружали по пять раз.

Основные результаты исследований канатов конструкции КЗх7(3) применительно к ТУ14-173-72 представлены в табл. 1.

В третьей главе описываются характеристики опытных образцов и методика исследования. Маркировка и назначение опытных образцов приведены в табл. 2.

Опытные образцы имели следующие обозначения:

В - короткая бетонная призма, опертая торцом, центрально армированная ненапрягаемым канатом - образец на вытягивание;

П - предварительно напряженная бетонная призма;

ПВ - предварительно напряженные центрально армированные спаренные призмы с домкратом между ними для вытягивания каната из бетона после отпуска предварительного напряжения;

Б - предварительно напряженная железобетонная балка.

Величина защитного слоя бетона была принята 20 и 50 мм, что соответствует условиям расположения напрягаемой арматуры в натуральных конструкциях (балки, плиты 3х12 м).

Процент косвенного армирования по объему ρ_v варьировался в пределах 0,98 - 5,1%.

Косвенная арматура образцов В была выполнена в виде поперечных сварных сеток из проволоки периодического профиля диаметром 6 мм класса А-III.

Косвенная арматура образцов П была выполнена в виде попе-

Таблица I

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАНАТОВ КОНСТРУКЦИИ КЗх7(3) ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТУ 14-173-72

Тип каната	Номинальный диаметр в мм	Номинальная площадь поперечного сечения в мм ²	Временное сопротивление в кг/мм ²	Нормативное сопротивление в кг/мм ²	Расчетное сопротивление в кг/мм ²	Модуль деформации в кг/см ²	Коэффициент сужения				
I	20	3,0(3,3)	152,7	180	26250	17190	16800	11000	1,93	10 ⁶	0,51
II	20	3,0(3,3)	152,7	180	25700	16830	16450	10770	1,8	10 ⁶	0,51

ПРИМЕЧАНИЕ: 1. Канат типа I - шаг свивки прядей 127 мм, каната 325 мм.
2. Канат типа II - шаг свивки прядей 100 мм, каната 210 мм.

Таблица 2 .

ОСНОВНЫЕ ОБРАЗЦЫ, ИХ МАРКИРОВКА И НАЗНАЧЕНИЕ

№ ряда	Шифр образцов (прижм)	Тип каната	Размеры образцов			Кол-во образцов (прижм)	Назначение, определяемые характеристики
			размер в см поперечн. речн. сечен.	длина	размер в см поперечн. речн. сечен.		
I	В1-В6	II	12x12	28	6	Оценка эффективности работы сварных поперечных сеток различных по конструкции.	
II	П1, П2	II	12x12	150	2	Работа поперечных сеток на конечных участках призм. Длина передачи усилки 2м.	
	300			2			
	530			2			
III	ПВ1(П); ПВ1(Л) ПВ2(П); ПВ2(Л) ПВ3(П); ПВ3(Л)	II	12x12	36	6	Работа косвенной арматуры при разном проценте косвенного армирования β . Длина передачи усилки. Изучение сцепления каната с бетоном.	
				28	2		
				28	4		
				300	4		
IV	ПВ4(П); ПВ4(Л) ПВ5(П); ПВ5(Л) ПВ6(П); ПВ6(Л)	II 7	12x12	28	2	Изучение деформативности заделки каната. Работа сеток при интенсивном движении каната в бетоне.	
				300	4		
V	П7-П10	два каната II	12x12	300	4	Работа сеток при малом защитном слое - 20 мм. Влияние длины участка косвенного армирования на длину передачи β .	
				28	3		
VI	ПВ7(П); ПВ8(П) ПВ9(П) ПВ7(Л); ПВ8(Л) ПВ9(Л)	II	12x12	28	3	Исследование деформативности заделки каната и работы сеток. Изучение сцепления каната с бетоном.	
				52	3		
				350	3		
VII	Б1-Б3	два каната 7	12x39	350	3	Эффективность установки закладных деталей при малом защитном слое - 20 мм. Поперечная деформация защитного слоя бетона.	

УШ	ПВ10(п); ПВ10(л) ПВ11(п); ПВ11(л) ПВ12(п); ПВ12(л)	7	12x12	52	4	Влияние прочности бетона на работу сеток и каната. Длина участка стабилизации деформаций проволок сеток.
IX	ПВ13(п); ПВ13(л) ПВ14(п); ПВ14(л) ПВ15(п); ПВ15(л)	7	12x12	52	4	Работа проволок сеток по длине и в сечении образца. Длина передачи усилений ρ_n . Сцепление каната с бетоном.
X	П11-П14	7	12x12	300	4	Определение длины участка, на котором необходимо косвенное армирование. Длина передачи усилений ρ_n .
XI	ПВ16(п); ПВ16(л) ПВ17(п); ПВ17(л) ПВ18(п); ПВ18(л)	7	12x12	36 54	2 3	Деформация проволок сеток и защитного слоя бетона. Длина передачи усилений ρ_n . Сцепление каната с бетоном.
XII	B15-B25 B26-B36 B37-B53 B54-B59 B60-B66	7	12x12	20 28 36 44 52	II II I7 6 7	Исследование поперечной деформации защитного слоя бетона, появление и развитие наружных трещин.
XIII	B7, B8	II	12x12	28	2	Какая доля расхода выспринимаются бетоном и какая - сеткам.
XIV	B9-B14	II	12x12	44	6	Исследование возможности замены целой сварной сетки двумя сетками в виде гребок.

речных сварных сеток с ячейками 30x30 мм из проволоки периодического профиля диаметром 6; 8 мм класса А-Ш и у образцов ПВ из проволоки периодического профиля диаметром 6; 8 мм класса А-Ш и из гладкой проволоки Ф5В1.

Шаг сеток опытных образцов изменялся в пределах 40-160 мм.

Роль косвенной арматуры в образцах Б выполняли закладные детали у торцов в виде обоймы, охватывающей напрягаемую арматуру с трех сторон и поперечная арматура каркасов (плоского-Ф5В1 и корытообразного-Ф6А1).

Прочность бетона образцов варьировали в пределах 184-575 кг/см².

Принятая методика исследования учитывает опыт отечественных и зарубежных исследователей и позволяет тщательно исследовать напряженно-деформированное состояние арматуры опытного образца в его теле (деформация косвенной арматуры в бетоне, смещение каната относительно бетона в разных точках по длине опытного образца).

Для определения длины участка передачи l_n применяли два способа. По одному из них длину l_n определяли по затуханию смещений сечений каната относительно бетона, замеренным по реперам и меткам, устраиваемым в специальных колодцах в защитном слое бетона образца. Смещения замеряли микроскопом МБС-1.

По другому способу длину l_n определяли по окончанию изменения деформации бетона на поверхности образца вдоль каната. С этой целью на боковых гранях образцов вдоль оси каната устанавливали цепочки тензметров Н.Н.Аистова (ТА-2) на базе 50, 100 мм и датчиков сопротивления на базе 100 мм. Деформацию бетона в середине образцов П, Б определяли индикаторами с ценой деления 0,01 мм на базе 700 мм.

Испытания показали, что оба способа определения l_n дают практически одинаковые результаты (при толщине защитного слоя 5 см).

На всех образцах замеряли поперечную деформацию защитного слоя бетона с помощью тензметров Н.Н.Аистова (ТА-2) на базе 100 мм и датчиков сопротивления на базе 50, 100 мм.

При испытании образцов фиксировали появление наружных трещин и их развитие. При этом пользовались лупой с пятикратным

увеличением и микроскопом МПБ-2.

Поворот каната на торцах образцов и кручение свободного каната измеряли специальными приспособлениями, оснащенными прогибомерами Н.Н.Аистова.

Деформации стержней сеток и каркасов измеряли датчиками сопротивления на базе 20мм и деформации закладных деталей - на базе 50 мм.

Смещение каната относительно бетона на торцах образцов и деформацию свободного каната измеряли индикаторами с ценой деления 0,01 мм.

Качество сцепления каната с бетоном на участке заделки оценивалось по следующим видам предельных состояний (ПС):

ПС-А. Разрыв каната за пределами бетонной призмы. Наступает при усилии в свободном канате $P_{\text{разр}}$.

ПС-Б. Полное проскальзывание (продергивание) каната. Наступает при усилии в свободном канате $P_{\text{прод}}$.

ПС-В. Смещение незагруженного конца каната на величину $\delta_0 = 0,1$ мм. Наступает при усилии в свободном канате $P_{0,1}$.

ПС-Г. Выход трещины раскола на поверхность образца. Наступает при усилии в свободном канате $P_{\text{тр}}$.

При изготовлении образцов отпуск натяжения выполняли всегда плавно за 6-7 этапов. Нагружение внешней нагрузкой выполняли также плавно этапами вплоть до предельного состояния Б или А.

В четвертой главе излагаются результаты экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния участка анкеровки в бетоне каната КЗх7(3). Анализируется работа канатов КЗх7(3), косвенной арматуры и бетона на этом участке.

Исследования позволили сделать следующие выводы:

Длина участка передачи усилия l_n при передаче предварительного напряжения каната на бетон может быть выражена формулой:

$$l_n = [b + K(\delta_0 - 7000)] \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \quad (I)$$

Коэффициенты b и K следует принимать из табл. 3.

Таблица 3*

Коэффициенты	Кубиковая прочность бетона в кг/см ²			
	200	300	400	500
B	42	35	32	30
K	0,0026	0,0022	0,0019	0,0016

Коэффициенты m_1 , m_2 , m_3 , характеризующие условия работы каната в бетоне надлежит принимать из табл.4

Таблица 4

Кубиковая прочность бетона в кг/см ²	300	400	500	Процент косвенного армирования	При l_k
m_1	-	-	0,90	2	$\geq l_n$
	0,85	-	-	3	$\geq l_n$
	-	0,75	-	4	$\geq l_n$
	1,0	1,0	1,0	> 4	< l_n

Тип каната	7	II	Процент косвенного армирования
m_2	-	1,2	2,5
	1,0	0,85	4

m_3	1,1	При $a = 20$ мм
	1,0	При $a = 50$ мм

l_k - длина участка, на котором расположено косвенное армирование от торца элемента; a - толщина защитного слоя бетона; σ_0 - предварительное напряжение в канате (в кг/см²).

* Значения коэффициентов **B** и **K** получены Д.В.Максимумым.

Наиболее нагруженными являются сетки, расположенные вблизи нагруженных торцов образцов, то есть там, где возникают большие смещения каната относительно бетона.

Неравномерность работы сеток по длине образца предлагается оценивать с помощью коэффициента неравномерности работы сеток K_H , который определяется по формуле

$$K_H = \frac{\sigma_c(\text{средн.})}{\sigma_c(\text{макс.})}, \quad (2)$$

где $\sigma_c(\text{средн.})$ - среднее арифметическое напряжение в проволоках сеток;

$\sigma_c(\text{макс.})$ - максимальное напряжение в проволоках наиболее нагруженной сетки.

При наступлении предельного состояния ПС-Г, когда трещина раскрывается вдоль всего образца, коэффициент K_H приближается к единице.

Коэффициент неравномерности работы сеток в момент отпуска натяжения составляет 0,6-0,7.

При отпуске натяжения деформация сеток косвенного армирования стабилизируется на участке передачи усилия l_n .

В предварительно напряженном элементе косвенная арматура используется более рационально. В отличие от образцов без предварительного напряжения предварительно напряженные образцы могут достичь ПС-А при $K_H \approx 1$.

Величина усилия N_c , воспринимаемого стержнями одного направления всех сеток в момент ПС-А, ПС-Б, может достигать 55-65% от агрегатного разрывного усилия каната.

Стержни сеток, расположенные вблизи каната (расстояние от оси каната 15 мм), нагружены в среднем в 1,2-1,75 раза больше проволок сеток, расположенных на расстоянии 45 мм от оси каната. Это хорошо согласуется с теоретическими представлениями о механизме восприятия бетоном поперечного давления каната.

Все проволоки сеток во время отпуска напряжения работали в упругой стадии. Максимальное напряжение в стержнях сеток достигало 1325-2470 кг/см².

При отпуске напряжения наиболее нагруженными являются сетки, расположенные у свободного торца.

Для наиболее нагруженных сеток (у образцов типа ПБ) была вычислена (табл.5) величина относительного растягивающего уси-

для q_{ci} стержней сеток одного направления по методике, предложенной П.Л. Изотовым

$$q_{ci} = \frac{N_{ci}}{N_0 \cdot a_c}, \quad (3)$$

где N_{ci} - усилие в проволоках одного направления наиболее нагруженной сетки у свободного торца образца;
 N_0 - усилие в свободном канате;
 a_c - шаг сеток.

Таблица 5

Величина относительного растягивающего усилия проволок сеток одного направления q_{ci} на единицу длины для образцов $L > l_n$

№ п/п	Сталь сеток	Тип каната	Шаг сеток, см	Прочность бетона, кг/см ²	Среднее напряжение в сетке у торца кг/см ² , σ_c	$q_{ci}, \frac{1}{cm}$
1	Ф8АШ	7	8	300-400	300	0,0025
2		II	8	400	550	0,0035
3		7	6	400	400	0,004
4		7	4	400	650	0,010
5		II	4	400	900	0,014
6	Ф8АШ	7	6	400-500	500	0,009
7		II	8	350	450	0,006
8		7	8	300-400	350	0,0045

Опытные величины q_{ci} и σ_c из таблицы 5 могут быть использованы при определении площади косвенной арматуры, расположенной по одну сторону от оси каната при конструировании ее для стадии отпуска по формуле:

$$F_{ac} = \frac{N_0 \cdot q_{ci} \cdot a_c}{2 \sigma_c} \quad (4)$$

При вытягивании каната из предварительно напряженного образца (ПС-В) сетки у нагруженного торца работают также как и сетки у свободного торца и если учесть, что в предельном сос-

тоянии ПС-Г, которое наступает, как правило, после ПС-В, коэффициент $K_H \approx 1$, то площадь арматуры одной сетки, вычисленная с помощью выражения (4), может быть принята одинаковой на всем участке l_p .

Как выяснилось, величина φ_{ci} зависит не только от вида предварительно напряженной арматуры (на что указывает Ю.Л.Изотов), но и существенно зависит от косвенного армирования, длины образца, прочности бетона, типа каната.

При наличии косвенного армирования нарушение сцепления канатов КЗх7(3) происходит путем вывинчивания их из бетона. Это можно объяснить тем, что канат КЗх7(3) данной конструкции при вытягивании его из бетона стремится вывинтиться, вращаясь как трехзаходный винт по нарекам-прядям.

Доля распора N , которая воспринимается сетками (N_c), растет пропорционально вытягиваемому усилию P , вплоть до предельного состояния ПС-В ($P = P_{0,1}$). С дальнейшим повышением вытягиваемого усилия эта пропорциональность нарушается, так как усилие N_c начинает расти быстрее. Это характерно как для образцов с предварительным напряжением, так без него.

Доля распора, воспринимаемая защитным слоем бетона, мало зависит от толщины защитного слоя в пределах от 20 до 50 мм.

Канат типа II лучше анкеруется в бетоне прочностью 346-420 кг/см², обладая меньшей в среднем в 1,21 раза деформативностью заделки.

Процент армирования по объему f_v существенно влияет на развитие предельных состояний. Деформативность заделки растет с уменьшением жесткости проволок сеток. Поэтому при конструировании элементов косвенной арматуры, предназначенной для усиления заделки, необходимо применять проволоку Ф6, Ф8АШ.

Повышая марку бетона с 300 до 500 и выше, можно значительно снизить величину распора, воспринимаемого поперечными сетками (в 1,5 раза), повышая одновременно качество сцепления.

Выполненные исследования позволили установить оптимальный процент косвенного армирования (при $a = 5$ см), который определялся по критерию ПС-В, когда предельное состояние ПС-Г еще не наступило (табл.6). При этом напряжение в канате близко к $\sigma_{0,2}$. Средние напряжения в проволоках сеток при появлении на поверх-

ности образца трещины раскола составляют в среднем 965 кг/см².

Таблица 6.

Оптимальный процент косвенного армирования бетона, армированного предварительно напряженным канатом КЗх7(3) для $l_3 \geq l_n$

$\alpha_c, \text{см}$ \diagdown $R, \text{кг/см}^2$	300	350	400	450	500	550
4	4,3	4,0				
6			3,0			
8				2,5	2,5	
до I6						2

Оценку напряженного состояния защитного слоя на поверхности образца можно выполнять с помощью выражений:

$$P = f_c \cdot K_0 \frac{\sigma_{01} - \sigma_{01}(x)}{(1 - f_c) + n \left(\frac{\sigma_s^2 + \sigma_a^2}{\sigma_s^2 - \sigma_a^2} + f_s \right)}, \quad (5)$$

$$G_0 = P \frac{\sigma_a^2}{\sigma_s^2 - \sigma_a^2} \left(1 + \frac{\sigma_s^2}{\sigma_a^2} \right), \quad (6)$$

где f_c - коэффициент сужения каната КЗх7(3), равный 0,51;
 K_0 - коэффициент условия работы, учитывающий влияние пластических деформаций бетона, внутреннего радиального трещинообразования, профиля арматуры и наличия косвенного армирования.

Остальные обозначения в выражениях (5), (6) приняты по Ю.Л. Изотову (Журнал "Бетон и железобетон" № II, 1970).

По экспериментальным данным построен дифференцированный закон сцепления канатов с бетоном при отпуске натяжения, под которым понимается семейство зависимостей $\tau = f(g, x)$ между взаимными смещениями каната и бетона $g(x)$, происходящими у поверхности контакта и условными касательными напряжениями сцепления.

Методика, построения закона сцепления, в разработке которой принимал участие автор диссертации, подробно изложена в работах [2, 4, 9].

Касательные напряжения $\tau(x)$ по линии контакта условно гладких прядей с бетоном вычислены с помощью ЭЦВМ "Минск-22" по известной формуле:

$$\tau(x) = \frac{F_n}{u} \frac{d\theta_n(x)}{dx},$$

где $u = 2,5 \pi d_{пр}$ - периметр каната КЗх7(3).

В диссертации показано, как располагая дифференцированным законом сцепления, можно анализировать эффективность работы косвенной арматуры в различных сечениях образца и определять усилия в сетках.

Проведенные испытания образцов типа Б показали надежность работы канатов КЗх7(3) в конструкции с малым защитным слоем бетона (20 мм) при наличии корытообразной закладной детали на торце, охватывающей бетон в виде обьемы с трех сторон.

Поперечная деформация защитного слоя бетона и хомутов каркасов стабилизируется на участке, равном величине зоны передачи l_n . Раскола защитного слоя бетона при отпуске не происходит.

Результатами, полученными на образцах типа В и ПВ, можно пользоваться при расчете опорной части балки.

По результатам исследований образцов типа В, П, ПВ, Б были составлены нижеследующие рекомендации по расчету и конструированию косвенной арматуры участка анкеровки каната КЗх7(3):

1. Для предварительно напряженных железобетонных конструкций, армированных трехпрядными канатами КЗх7(3) по ТУ14-173-72, следует назначать проектную марку бетона не менее 400, а прочность бетона при обжатии (при отпуске натяжения) не менее 280 кг/см^2 .

2. Косвенное армирование концевых участков элементов армированных канатами КЗх7(3) необходимо выполнять из арматуры периодического профиля. Диаметр стержней (проволоки) должен быть не менее 6 мм.

3. Косвенное армирование необходимо устраивать на всей

длине участка передачи усилия с каната на бетон l_n .

4. Процент косвенного армирования по объему на всем участке l_n должен быть одинаков.

5. В качестве первого приближения при расчете косвенной арматуры, процент косвенного армирования следует принимать из таблицы 6.

Косвенную арматуру в сечении конструкции располагать от оси каната в радиусе не более $5 D_k$.

6. Длина участка передачи l_n должна вычисляться по формуле (2). Коэффициенты M_1, M_2, M_3 , характеризующие условия анкеровки каната КЗх7(3) в бетоне, принимаются по табл. 4.

7. Шаг сеток принимать, исходя из прочности бетона, руководствуясь таблицей 6.

8. Требуемое сечение косвенной арматуры определяется по формуле (4), пользуясь при этом таблицей 5.

9. Проверка достаточности косвенного армирования, т.е. окончательная корректировка процента косвенного армирования, выполняется с помощью выражений (5), (6).

10. Первую сетку от торца следует устанавливать на расстоянии равном половине шага сеток, но не менее 20 мм.

11. Сетки должны быть сварными и изготавливаться с ячейкой не более 60х60 мм.

12. В тех конструкциях, где затруднена установка целых сварных сеток допускается установка двух встречных или перекрестных гребенок (вилки) с длиной перепуска стержней не менее 20da.

13. В конструкциях с защитным слоем 20 мм необходимо на концевых участках устанавливать закладные детали (толщина листа не менее 8 мм) длиной не менее 15 см в виде обоймы, охватывающей опорный участок с трех сторон.

Для включения закладной детали в работу необходима приварка к ней поперечных стержней, надежно заанкеренных в бетоне (см. СНиП П-В 1-62* п.13).

В пятой главе рассмотрены результаты проектирования косвенной арматуры и испытания первых опытных натуральных конструкций плит 3х12 м и балок, армированных канатами КЗх7(3).

Предварительно напряженные плиты ПНК-22 размером 3х12 м

были запроектированы на основе типовой серии И3-93, выпуск Ш. Минимальная величина защитного слоя для канатов составляла 20 мм. Каждое продольное ребро армировали тремя канатами внизу и одним канатом сверху ребра. Армирование опорного узла плит ПП1, ПП2 было выполнено с учетом наших рекомендаций. На опорах ставили типовые закладные детали, охватывающие канаты с трех сторон. Было изготовлено две плиты - ПП1 и ПП2.

Проектная марка бетона $R = 500 \text{ кг/см}^2$. Прочность бетона при отпуске $R_0 = 376$ у плиты ПП1 и $R_0 = 394$ у плиты ПП2.

Напряжения в канатах равнялись $\sigma_0 = 12750 \text{ кг/см}^2$.

Проекты балок с канатной арматурой марок ИБ-ИВ-4К (БД-1), ИБ-ИВ-3К (БД2) и 2БД-ИВ-4К (БД3) были выполнены на основе типовой серии ПК-01-06, выпуск 8*.

У балки БД1 косвенного армирования на опорных участках в зоне передачи предварительного напряжения с канатов на бетон поставлено не было.

Балки БД2, БД3 имели косвенное армирование, запроектированное на основании приведенных выше рекомендаций.

Проектная марка бетона $R = 500 \text{ кг/см}^2$.

Балку БД1 армировали 13 канатами К3х7(3) типа 7 ($\sigma_0 = 13700 \text{ кг/см}^2$, $R_0 = 371 \text{ кг/см}^2$).

Балку БД2 армировали 7 канатами типа 9 ($\sigma_0 = 12300 \text{ кг/см}^2$, $R_0 = 302 \text{ кг/см}^2$).

Балку БД3 армировали 8 канатами типа 7 ($\sigma_0 = 12230 \text{ кг/см}^2$, $R_0 = 425 \text{ кг/см}^2$).

Исследование опытных конструкций проводили в два этапа: в момент отпуска натяжения и испытания нагрузкой.

Испытания предварительно напряженных железобетонных плит покрытия размером 3х12 м, армированных трехрядными канатами К3х7(3) подтвердили, что эти канаты надежно заанкериваются на опорных участках продольных ребер плит. В процессе испытаний плит ПП1, ПП2 трещин раскола бетона не было.

Надежность анкеровки обеспечена поперечной арматурой и закладной деталью на торце.

После отпуска натяжения на торцах балки БД1 были обнаружены радиальные трещины раскола шириной 0,05 мм и длиной 20 мм. Появление их вызвано отсутствием косвенной арматуры.

Раскола бетона у торцов при испытании балок БД2, БД3 не

произошло, вплоть до последней ступени нагружения.

Балка БД1 разрушилась из-за раскола бетона у одного из опорных узлов; балки БД2, БД3 разрушились по сжатой зоне под силой ($\sigma > 2$ для всех балок).

По результатам испытаний натуральных конструкций следует вывод, что двускатные балки и плиты 3×12 м, армированные вместо семипроволочных прядей П7(5) канатами КЗх7(3), при наличии косвенной арматуры, поставленной в соответствии с нашими рекомендациями, обладают требуемой прочностью, жесткостью и трещиностойкостью.

ОСНОВНЫЕ ИТОГИ РАБОТЫ

1. Исследованы физико-механические свойства канатов КЗх7(3), которые существенно зависят от шага свивки проволок в канате (табл. I).

2. Исследована анкеровка канатов КЗх7(3) в зависимости от типа каната, наличия предварительного напряжения в канате, прочности бетона, длины образца и длины участка косвенного армирования, от процента косвенного армирования и величины защитного слоя бетона.

3. Изучена работа косвенной арматуры и защитного слоя бетона с учетом влияния перечисленных в п.2 факторов.

4. Составлены рекомендации по определению длины участка передачи усилия l_n и по расчету и конструированию косвенной арматуры.

5. Получен дифференцированный закон сцепления каната с бетоном который позволяет анализировать эффективность косвенного армирования в различных сечениях образца и выполнять теоретически расчет сцепления канатов КЗх7(3) с бетоном при отпуске натяжения.

6. Результаты исследований, полученные на образцах типов В, ПВ, П и Б использованы при разработке рекомендаций по расчету и конструированию косвенной арматуры на опорах балок и плит.

7. Испытания натуральных конструкций балок и плит показали, что при наличии необходимого косвенного армирования каната КЗх7(3) надежно анкеруются в бетоне опорных узлов, а сами конструкции

удовлетворяют требованиям ГОСТ 8826-66 по прочности, трещиностойкости и жесткости.

8. Некоторые результаты исследований были использованы при разработке "Рекомендаций по применению трехрядных канатов для армирования предварительно напряженных конструкций" (НИИЖБ Госстроя СССР и ЧПИ МВ и ССО СССР, 1968 г.).

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Трехрядные арматурные канаты типа КЗх7. Сборник трудов ЧПИ "Исследования по бетону и железобетону" № 46, Челябинск, 1967 г. (соавторы: Ю.В.Максимов, Л.А.Красильников, Н.В.Соколов, А.Г.Лисенко, Л.Д.Мамкин).

2. Сцепление арматурных канатов КЗх7 с бетоном. Сборник трудов ЧПИ, "Исследования по бетону и железобетону" № 46, Челябинск, 1967 г. (соавторы: А.А.Оатул, Ю.В.Максимов).

3. Предварительно напряженные фермы и балки, армированные трехрядными канатами типа КЗх7. Журнал "Бетон и железобетон" № 1, 1968 г. (соавторы: А.А.Оатул, Ю.В.Максимов, В.И.Миловидов, А.С.Черный, Д.И.Рудяков, М.Л.Капульник, В.М.Голубков).

4. Сцепление трехрядных канатов КЗх7 с бетоном. Сборник трудов ЧПИ "Вопросы сцепления арматуры с бетоном" № 56, Челябинск, 1968 г. (соавторы: Ю.В.Максимов, В.И.Миловидов, А.А.Оатул).

5. Косвенное армирование участка анкеровки канатов КЗх7(3). Сборник трудов ЧПИ "Исследования по бетону и железобетону" №73, Челябинск, 1969 г. (соавтор: А.А.Оатул).

6. Испытание предварительно напряженных железобетонных ферм, балок и плиты размером 3х12 м, армированных канатами КЗх7(3). Сборник трудов ЧПИ "Исследование по бетону и железобетону" № 73, Челябинск, 1969 г. (соавторы: Д.И.Рудяков, В.Ф.Стоякин, Ю.В.Максимов, В.И.Миловидов).

7. Преднапряженные плиты покрытий 3х12 м, армированные канатами. Журнал "Бетон и железобетон" № 6, 1971 г. (соавтор: Д.И.Рудяков).

8. Исследование работы косвенного армирования участка анкеровки канатов КЗх7(3). Сборник трудов ЧПИ "Исследования по бетону и железобетону" № 96, Челябинск, 1971 г.

9. Сцепление трехрядных канатов с бетоном. Сцепление арматуры с бетоном (по материалам Всесоюзного научно-технического совещания в г.Челябинске), М., 1971 г. (соавторы: А.А.Оатул, Ю.В.Максимов, В.И.Миловидов).

10. Механические свойства трехрядных арматурных канатов конструкции КЗх7. Сборник трудов НИИЖБ "Высокопрочная витая проволочная арматура (материалы координационного совещания,

Москва, 1971 г.), М., 1972 г. (соавтор: Ю.В.Максимов).

II. Разработка предварительно напряженных конструкций покрытий промышленных зданий с канатной арматурой. Сборник рефератов НИР серия И8, № 3, ВНИИЦ, 1970 г. (соавтор: А.А.Оатул).

12. Разработка и внедрение в производство железобетонных конструкций армированных канатами в т.ч. с поперечно-оттянутой арматурой. Сборник рефератов НИР серия И8, № И8(2I), ВНИИЦ, 1969 г. (соавтор: А.А.Оатул).

13. Предварительно напряженные железобетонные конструкции с прядевой и канатной арматурой. Сборник рефератов НИР серия И8 № 3, ВНИИЦ, 1969 г. (Соавтор: А.А.Оатул).

Материалы диссертации были доложены и обсуждены на XXVIII научной конференции Ленинградского ордена Трудового Красного Знамени инженерно-строительного института (г. Ленинград, февраль 1970 г.), на XXI, XXII, XXIII, XXIV, XXV и XXVI научно-технических конференциях Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола, проходивших в 1968-1973 г.г. на Всесоюзном совещании по проблеме сцепления арматуры с бетоном (Челябинск, июнь, 1968 г.) и Межобластном семинаре по обмену опытом применения трехрядных арматурных канатов в производстве длинномерных предварительно напряженных железобетонных конструкций (Челябинск, декабрь, 1968 г.).