

129 р.

15. Довженко О.О. Міцність бетонних та залізобетонних елементів при місцевому прикладанні стискуючого навантаження: Автореф. дис...канд. техн. наук. – Полтава: Полт. ИСИ, 1993. – 20 с.

16. Погрібний В.В. Міцність бетонних та залізобетонних елементів при зрізі: Автореф. дис...канд. техн. наук. – Полтава: ПДТУ ім. Ю.Кондратюка, 2001. – 19 с.

17. Mitrofanov V.P. Investigation of destruction zone resistance of HSC of Beams under shear forces action. Proc. of 5-th Int. Symp. on Utilization of HS / HP Concrete, 20-24 June 1999, Sandefjord, Norway. – Vol.1. – pp 461-468.

18. Митрофанов В.П., Онипенко Д.К. Експериментальна перевірка варіаційного методу розрахунку міцності стиснутих і зігнутих трубобетонних елементів // Будівельні конструкції. Вип.50. – К.: НДІ БК, 1999. – С.172-176.

19. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1969. – 420 с.

20. Rice J. The Mechanics of Earthquake Rupture. – Amsterdam: North-Holland Publ. Comp., 1980.

21. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1986. – 688 с.

22. Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. – М: Стройиздат, 1974. – 316 с.

23. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. – М.: Недра, 1970. – 301 с.

24. Митрофанов В.П. Вариационный метод в теории идеальной пластичности бетона // Строительная механика и расчет сооружений. – 1990. – №6. – С.23-28.

25. Гвоздев А.А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. – М.: Стройиздат, 1949. – 280 с.

Получено 24.03.2006

УДК 543.082

Ю.В.ГЛАЗУНОВ, канд. техн. наук

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г.Харьков

ВЛИЯНИЕ СЛОЖНЫХ НАПРЯЖЕННЫХ СОСТОЯНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ БЕТОНА В СТАЛЕБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований прочности и деформации бетона в конструкциях под нагрузкой, рассматриваются особенности работы конструкций, выполненных из сталебетона, под влиянием сложных напряженных состояний, а также способы расчета сталебетонных конструкций.

Сложные напряженные состояния учитывают в расчетах не только плоскостных (плит перекрытия) и объемных конструкций (фундаментных блоков), но и стержневых сталебетонных конструкций (колонн), работающих как на поперечный изгиб и кручение с изгибом, так и на кручение с растяжением (сжатием). Такие напряженные состояния необходимо учитывать при расчете конструкций на действие главных растягивающих и сжимающих напряжений, напряжений от дейст-

вия опорных реакций, сосредоточенных сил и распределенной нагрузки [1].

Кроме нормальных напряжений, вызванных растяжением (сжатием) и усилиями предварительного обжатия, в данных конструкциях приходится учитывать касательные напряжения от действия поперечной силы или крутящего момента.

Трехосные напряженные состояния возникают вблизи усиленных сетками опорных узлов, в которых концентрируются напряжения. При этом бетон становится более деформируемым (пластичным). В условиях трехосного сжатия в бетоне могут возникать более значительные напряжения и деформации, чем при одноосном сжатии (растяжении).

В практике проектирования колонн многоэтажных зданий часто применяют сетчатое армирование нагруженных сжатых элементов и отдельных стыков с использованием в них высокопрочной арматуры. В этих элементах повышение несущей способности конструкции объясняется трехосным сжатием от влияния поперечного армирования.

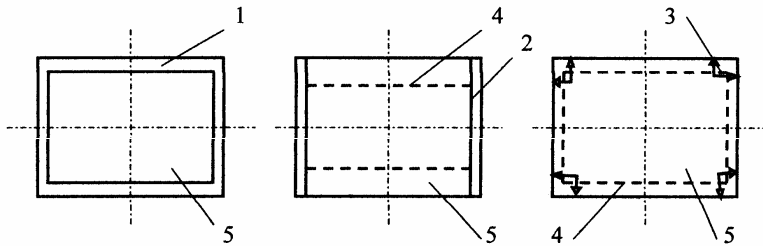
Анализ экспериментальных исследований позволил сформулировать обобщенные критерии прочности хрупких материалов, таких как бетон [4, 5]. В настоящее время рассматривается ряд предложений по развитию теории прочности [2, 3].

Дальнейшее совершенствование методов расчета бетонных и железобетонных конструкций связано с более глубоким пониманием процессов разрушения бетона, состояния его деформирования при различных напряженных состояниях. В отличие от простейшего напряженного состояния – одноосного сжатия (растяжения) – при трехосном действии сжимающих напряжений резко возрастают не только предельные нагрузки, но и деформации, и по-иному происходит разрушение конструкций. При определении деформаций сказывается влияние как нормальных, так и касательных напряжений.

В данной работе проводилось исследование методов повышения прочностных характеристик исходных материалов железобетонных конструкций, а также обоснование наиболее рациональных форм сочетания бетона и арматуры при их совместной работе. Наиболее эффективно бетон работает при объемном напряженном состоянии, что привело к появлению различных видов косвенного армирования.

Изучение новых направлений в области совершенствования строительных конструкций показало, что одним из перспективных является использование внешнего листового армирования, которое одновременно выполняет силовые, защитные, изоляционные, технологические функции [6]. К таким конструкциям относятся сталебетонные конструкции, состоящие из стальной оболочки, заполненной бетоном

(рисунок).



Элементы прямоугольного поперечного сечения с внешним армированием:
a – стальная квадратная оболочка, заполненная бетоном; *б* – внешнее армирование стальными листами; *в* – внешнее армирование прокатными уголками;
 1 – стальная оболочка; 2 – стальной лист; 3 – прокатный уголок; 4 – арматура;
 5 – бетон.

Применение сталебетона эффективно в конструкциях, работающих на осевое сжатие и изгиб, а также во внецентренно сжатых элементах. При этом, по сравнению с железобетонными, сталебетонные конструкции имеют повышенную несущую способность, жесткость, трещиностойкость, а по сравнению с металлическими – меньшую металлоемкость.

Экономичность конструкций с внешним армированием, по сравнению с традиционными – железобетонными – обеспечивается за счет более рационального использования свойств материалов. Бетон, работающий в условиях объемного напряженного состояния, воспринимает напряжения, значительно превышающие прочность неизолированного бетона. Стальная оболочка, заполненная бетоном, в значительной степени защищена от потери местной и общей устойчивости.

С целью обоснования эффективности и более широкого распространения конструкций с внешним армированием в практику строительства, в данном исследовании разработаны способы расчета сталебетонных колонн прямоугольного сечения при различных воздействиях внешней продольной нагрузки. Выполнен расчет коротких сталебетонных колонн прямоугольного сечения на центральное сжатие при передаче продольной нагрузки на бетон; на стальную оболочку; на одном торце колонны – на бетон, на другом – на стальную оболочку.

В последнее время значительное развитие получил конструктивный элемент из стальной тонкостенной трубы прямоугольного или круглого сечения, заполненной бетоном. Технология заполнения бетоном отработана и доведена до практического использования. Это позволило широко внедрить трубобетонные конструкции в практику

строительства [6].

Технико-экономические исследования показали, что применение сталебетонных элементов для колонн промышленных зданий позволяет экономить до 31-55% стали по сравнению со стальными колоннами и до 13% – с железобетонными. Приведенные затраты снижаются в первом случае на 28-47%, во втором – на 51-62%. Использование сталебетонных колонн в подкрановых эстакадах позволяет экономить до 12-28% стали по сравнению со стальными и до 9% – с железобетонными конструкциями. Приведенные затраты снижаются на 28-56%.

Создание специальных конструктивных схем, освоение новых технологических процессов изготовления труб и разработка узлов конструктивных элементов, использование на заводах железобетонных конструкций вибрационных процессов для скоростного заполнения труб бетоном способствуют развитию трубобетонных конструкций.

Трубобетонный стержень является комплексной конструкцией, состоящей из стальной трубы и бетонного ядра, работающих эффективно. Такая конструкция обладает многими положительными качествами. Прочность бетонного ядра, стесненного стальной оболочкой как облоймой, повышается примерно в два раза.

В проведенных опытах через 135 дней на одном из образцов была снята изоляция, что вызвало быстрое развитие деформаций усадки, которые стали почти такими же, как и у аналогичных неизолированных образцов. Величины усадочных продольных деформаций изолированного образца весьма незначительны и составляют $\varepsilon = (2 \div 3) \cdot 10^{-5}$. Это является одним из преимуществ трубобетона в сравнении с железобетоном.

Изоляция бетона от окружающей среды создает лучшие условия для работы бетона под нагрузкой. В неизолированном бетоне развитие микротрещин постоянно прогрессирует, у изолированного бетона при том же напряжении оно полностью прекращается в течение двух-трех дней.

Заполнение стальной трубы бетоном повышает ее противокоррозионную стойкость, защищая от коррозии ее внутреннюю поверхность, уменьшает гибкость элементов, увеличивает местную устойчивость стенок трубы, повышает сопротивление оболочки деформированию в узлах сопряжения и при ударных воздействиях во время транспортирования и монтажа.

Площадь наружной поверхности трубобетонных конструкций примерно в два раза меньше, чем конструкций из профильного проката, вследствие чего у них меньше расходы по окраске и эксплуатации.

На цилиндрических поверхностях задерживается меньше пыли и грязи, которые активизируют процессы атмосферной коррозии.

Использование цилиндрических стержней в сооружениях, подверженных ветровым нагрузкам, позволяет снизить эти нагрузки за счет улучшения аэродинамических качеств. Стержень круглого сечения является равноустойчивым при одинаковых расчетных длинах. Жесткость на кручение такого стержня значительно выше, чем у стержней открытого профиля.

Труبوبетонные конструкции имеют преимущества по сравнению с железобетонными. Известно, что применение железобетонных конструкций позволяет экономить сталь на фермы до 40, на балки – до 20, на колонны – 50-70%. Однако, при этом стоимость возведения железобетонных конструкций выше, чем стальных: ферм – до 40, подкрановых балок – до 55, колонн – до 35% [7]. Сравнение технико-экономических показателей металлических, железобетонных и труبوبетонных колонн приведено в таблице.

Применяя стальные конструкции вместо железобетонных, необходимо учитывать условия, в которых они будут находиться при эксплуатации. Обследованиями установлено, что при повышенных температурах конструкции из железобетона с бетонами обычных марок разрушаются через 5-10 лет вследствие пересушивания бетона и дегидратации цементного камня.

В агрессивных средах агломерационных фабрик в условиях воздействия мышьяковистого ангидрита наблюдались случаи разрушения конструкций за четыре года. Значительна коррозия железобетона в цехах цветной металлургии. В этих и других подобных неблагоприятных условиях с успехом можно применять труبوبетон, в котором бетон защищен от агрессивных воздействий стальной оболочкой.

Полная стоимость сооружений из труبوبетона значительно ниже стоимости аналогичных железобетонных и стальных. Меньшая масса труبوبетонных элементов в сравнении с железобетонными облегчает их транспортирование и монтаж. Труبوبетон экономичнее железобетона из-за отсутствия опалубки, хомутов, отгибов, петель, закладных деталей; он более вынослив, менее подвержен механическим повреждениям. Отсутствие распределительной и рабочей арматуры позволяет получить более высококачественную укладку жестких бетонных смесей.

Сопrotивление, которое испытывает бетонная призма против сдвига в металлической оболочке, является результатом взаимного механического воздействия между обоими материалами. Силы сцепле-

Сравнение технико-экономических показателей
металлических, железобетонных и трубобетонных колонн

Сооружение	Грузоподъемность крана, т	Высота до низа стропильной фермы, м	Пролет, м	Шаг колонн, м	Вид конструкции	Масса колонны		Расход металла на одну колонну	
						т	%	т	%
Одноэтажные промышленные здания с колоннами обычного типа	50	18	18	6	{ Металлическая Трубобетонная }	5,6 5,93	-5,9	5,6 3,43	+38,7
	100	18	30	12	{ Металлическая Трубобетонная }	6,5 6,47	+0,5	6,5 4,49	+31
	250	40	36	24	{ Металлическая Трубобетонная }	34,5 31,8	+7,8	34,5 15,3	+55,6
	300	31	36	36	{ Металлическая Трубобетонная }	40,2 41,8	-4	40,2 18,2	+54,7
	10	12	18	6	{ Железобетон. Трубобетон. }	5,7 1,39	+75,5	0,45 0,48	-7,3
	30	16	18	6	{ Железобетон. Трубобетон. }	14,7 1,83	+87,5	1,04 0,92	+11,6
	75	16	12	12	{ Железобетон. Трубобетон. }	24,2 3,78	+84,5	1,8 1,56	+13
То же, раз- дельного типа	15	14,5	24	6	{ Металлическая Трубобетонная }	1,62 1,96	-21	1,62 0,93	+42
	80	24	36	12	{ Металлическая Трубобетонная }	3,9 5,83	-34,6	3,9 2,01	+48,5
Крановые эстакады	10	12	32	18	{ Металлическая Трубобетонная }	2,9 3,41	-17,5	2,9 2,54	+12,4
	20	16	18	18	{ Металлическая Трубобетонная }	5,5 5,58	-1,5	5,5 3,98	+27,7
	30	16	18	18	{ Металлическая Трубобетонная }	8 7,47	+6,7	8 5,87	+27
	75	26	36	12	{ Металлическая Трубобетонная }	12 13,7	-14	12 8,81	+26,4
	10	9	18	12	{ Железобетон. Трубобетон. }	8,5 1,44	+83	0,6 0,6	+0,5
	30	10,6	24	12	{ Железобетон. Трубобетон. }	10,1 1,77	+82,5	0,94 0,89	+5,7
	50	14	30	12	{ Железобетон. Трубобетон. }	20 3,51	+82,3	1,65 1,57	+9

Примечание. Показатели для металлических и железобетонных колонн взяты из проектов построенных сооружений. Трубобетонные колонны рассчитывали по нагрузкам, действующим на аналогичные стальные и железобетонные колонны.

ния составляют определенную часть того полного сопротивления, которое оказывает бетон при выдавливании его из металлической оболочки. На основании эксперимента было исследовано влияние сил сцепления на несущую способность сталебетонных колонн и определено количественное значение сил сцепления и сил сдвига при различной прочности бетона на сжатие.

Широкое внедрение трубчатых конструкций в строительство требует снижения стоимости самих труб, что может быть достигнуто при производстве труб из листового проката электросварным способом. Себестоимость электросварных труб оказывается выше себестоимости сортового проката всего на 2-6%. Электросварные трубы отличаются повышенной точностью толщины стенки, диаметра, овальности и, следовательно, удовлетворяют условиям применения в строительстве.

При широком применении трубобетонных конструкций необходим индустриальный и высокопроизводительный способ заполнения труб бетоном, обеспечивающий высокую прочность и однородность бетонного ядра. Существуют три способа уплотнения бетона в трубах: глубинное и внешнее вибрирование, метод штыковки.

Глубинное вибрирование осуществляется глубинными вибраторами, вводимыми в бетон, оболочка стержня при этом неподвижна. Способ применяется при больших диаметрах труб ($D > 100$ мм).

Наиболее эффективным и универсальным является внешнее вибрирование, осуществляемое с помощью вибростола с вертикальными гармоническими колебаниями. Трубы, при этом способе, прочно прикрепленные к вибростолу в вертикальном положении, вибрируют вместе с ним. Бетон подается сверху через загрузочные воронки в вибрирующую трубу, заполняет ее и одновременно уплотняется.

В проведенных экспериментах использовались гармонические колебания с амплитудами 0,3-0,6 мм, частотами 1400-6000 кол/мин, длительностью 16-210 с. Предусматривалась возможность извлечения бетонного ядра из трубы, для чего последняя выполнялась разъемной по диаметральной плоскости. Бетонные стержни извлекали из труб через сутки после их изготовления, а через трое суток распиливали на цилиндры высотой 200 мм. Из каждого бетонного ядра в зависимости от его длины получалось от 2 до 12 цилиндрических образцов, которые затем испытывали на сжатие вдоль оси.

Прочности образцов из одного и того же ядра не одинаковы и зависят от положения образца в ядре. Численные характеристики прочности образцов служат основой для суждения о качестве уплотнения. Идеальным считается случай, когда прочность бетонного ядра одина-

кова по всей длине стержня. Практически этого достигнуть не удастся, и наилучшие режимы уплотнения выявляются статическим путем.

В отличие от обычного стального стержня трубобетонный стержень эффективно работает только на сжатие. При работе на растяжение он обладает значительно меньшей несущей способностью. В этом отношении трубобетонный стержень, как первичный элемент конструкции, аналогичен железобетонному. Поэтому в трубобетонных конструкциях стержни, образующие несущие каркасы, должны быть сжаты. Растянутые стержни в принципе не должны быть трубобетонными.

Однако, некоторые конструктивные решения оправдывают применение растянутых трубобетонных стержней; например, защита от коррозии внутренней поверхности трубы, увеличение изгибной жесткости стержня в целом, и его стальной стенки в особенности (для уменьшения общих и местных начальных прогибов), увеличение собственного веса конструкции, унификация сортамента при заказе металла.

Технология изготовления трубобетонных стержней с помощью внешнего вибрирования расширяет возможности конструирования мощных узлов сквозных конструкций за счет использования прорезных фасовок и других деталей, располагаемых в полости трубы. Применение же глубинного вибрирования затрудняет постановку этих деталей в трубе.

Трубобетонный стержень используется в традиционных конструктивных схемах сооружений для элементов, работающих преимущественно на сжатие. К таким элементам относятся колонны производственных и общественных зданий, стойки в различных конструкциях, пилоны висячих покрытий и сооружений, пояса опор линий электропередачи, сжатые стержни ферм и арок.

В традиционных схемах производственных зданий расход металла на сжатые элементы, в частности на колонны, достаточно велик. Если принять массу планировочной ячейки здания за 100 %, то колонны составляют в прокатных цехах 20-30, в мартеновских цехах – 15, в цехах тяжелого машиностроения – 35%.

Сложная конструкция колонн является одной из существенных причин увеличения их шага и уменьшения количества. Препятствием к применению здесь железобетона может быть несоответствие свойств бетона температурно-влажностным режимам цехов, монтажно-конструктивные трудности (вследствие большой массы и высоты железобетонных колонн) и сложность сопряжения частей сталежелезобетонных рам.

При проектировании необходимо учитывать конструктивные пре-

имущества трубчатых конструкций, в которых трубы можно прикреплять друг к другу без соединительных и переходных деталей, что существенно снижает массу конструкций. Однако, такое соединение элементов требует более точной и сложной по форме обрезки торцов труб.

Сталобетонные конструкции очень надежны в эксплуатации – в предельном состоянии они не теряют несущую способность мгновенно, как железобетонные, а еще длительное время способны выдерживать нагрузку. Несущая способность сталобетонных элементов увеличивается за счет повышения устойчивости элемента из-за наличия бетонного ядра.

Эффективность строительных конструкций определяется расходом материалов для их производства, трудозатратами и, в конечном итоге, стоимостью. Применение сталобетонных конструкций взамен железобетонных позволяет снизить их металлоемкость и трудоемкость изготовления, повысить надежность.

Сталобетонные элементы используются в нашей стране и за рубежом в качестве стоек и каркасов многоэтажных жилых, общественных, промышленных зданий, при строительстве мостов, путепроводов и транспортных развязок. Во всех случаях, по сравнению с железобетоном той же несущей способности, снижается себестоимость строительства и на 30-40% уменьшается расход металла.

1. Алтухов В.Д. Построение диаграммы усталостной прочности бетона с использованием критериев механики разрушения // Вопросы расчета железобетона. – Ростов н/Д., 1999. – С.98-106.

2. Балдин В.А., Шейнфельд Н.М. Применение трубчатых конструкций из стали повышенной и высокой прочности в перекрытиях. Металлические конструкции. Работа школы профессора Н.С.Стрелецкого. – М.: Стройиздат, 1991. – 288 с.

3. Боришанский М.С. Расчет отогнутых стержней и хомутов в изгибаемых железобетонных элементах по стадии разрушения. – М.: Стройиздат, 1998. – 167 с.

4. Давиденков Н.Н., Ставрогин А.Н., Петрова Н.А. Критерии прочности при хрупком разрушении // Доклады АН СССР. – 1988. – Т. 99, № 1. – С.56-59.

5. Карпенко Н.Н. Об одной характерной функции прочности бетона при трехосном сжатии // Строительная механика и расчет сооружений. – 2002. – № 2. – С.33-36.

6. Стороженко Л.И., Ефименко В.И., Плахотный П.И. Изгибаемые труботонные конструкции. – К.: Будівельник, 1999. – 104 с.

7. Численные методы в теории упругости и теории оболочек / Н.П.Абовский, Н.П.Андреев, А.П.Деруга, В.И.Савченков. – Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 2003. – 384 с.

Получено 02.06.2006