

**POŁĄCZENIA PODATNE
W KONSTRUCJACH STALOWYCH
Białystok, 11 października 1997**

**КОНСТРУКЦИИ ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ТРУБ,
УСИЛЕННЫХ БЕТОНАМИ НА НАПРЯГАЮЩИХ
ЦЕМЕНТАХ**

**А.В. Мухин, И.В. Зинкевич (Брестский
политехнический институт),
J.Szlendak (Politechnika Białostocka)**

1. Введение

В данной работе рассматривается возможность повышения несущей способности конструкций из прямоугольных труб и их узлов бетонами на напрягающих цементах. Области применения этой идеи могут быть весьма обширны, это прежде всего, конструкции каркасных зданий из прямоугольных труб, фермы, покрытия, структуры.

Авторами выполнен эксперимент по исследованию напряженно-деформированного состояния прямоугольной трубы заполненной бетоном прогнозируемой марки по самонапряжению (S 3.5) при условии твердения бетона в закрытой полости, что привело к предварительному напряжению конструкции в поперечном направлении. Выполнялся, также, теоретический анализ напряженно-деформированного состояния конструкций такого типа.

Результаты экспериментальных и теоретических исследований показали :

- Твердение бетона на напрягающих цементах в замкнутых плоскостях позволяет получить эффект самонапряжения без дополнительного увлажнения;

- По результатам теоретического анализа прогнозируется увеличение жесткости узлов из прямоугольных труб усиленных бетонами на напрягающих цементах в несколько раз;

- Следует ожидать и увеличения прочности таких узлов;

- Ожидается увеличение несущей способности сжатых элементов рам, усиленных бетонами на напрягающих цементах.

Применение в строительстве эффективных профилей проката, таких как прямоугольные стальные трубы, обеспечивает снижение металлоемкости, трудоемкости и конечном счете стоимости строительства. Кроме того они позволяют получить хорошие функциональные и архитектурно-выразительные конструктивные решения зданий с легким металлическим каркасом .

Эффективность применения стальных прямоугольных труб обусловлена рациональной формой их сечения, хорошей технологичностью и эстетичностью бесфасоночных узлов. В Республике Беларусь профили и конструкции данного типа изготавливаются Молодечненским заводом легких металлических конструкций. В ряде случаев становится эффективным комбинирование в конструкциях прямоугольных труб и двутавров. В многоэтажных рамах в качестве колонн, работающих на внецентренное сжатие, возможно использование прямоугольных труб, а в качестве ригелей, преимущественно работающих на изгиб , - двутавров, так как они обладают большей жесткостью в направлении одной из осей симметрии. Сопряжение элементов с технологической, экономической и архитектурно-эстетической точек зрения целесообразно выполнять бесфасоночным.

Определенные проблемы при использовании таких профилей с бесфасоночными узлами создает работа бесфасоночного узла, как

самостоятельной конструкции, под действием изгибающего момента. Узлы такого типа, как и многие другие, обладают податливостью, т.е. способностью к взаимному повороту соединяемых в узле элементов. Это свойство существенно влияет на распределение усилий в рамных системах, устойчивость их элементов, деформативность систем.

Необходимо отметить, что податливость бесфасоночных узловых соединений связана с особенностями работы тонкостенных профилей, условиями сложного напряженного состояния в областях с локальным нагружением, конструктивными особенностями узловых соединений, с нелинейной работой материала в локальных областях. Вопрос определения величин, характеризующих податливость, а также ее учет при расчете стержневых систем в настоящее время интенсивно исследуется.

Уменьшить податливость узловых соединений, а также увеличить несущую способность узлов из прямоугольных труб без фасонки возможно за счет усиления узлов. Традиционные методы увеличения несущей способности узлов осуществляются изменением геометрических параметров соединяемых элементов, применением более прочных сталей, а также введением дополнительных конструктивных элементов (фасонки подкладок и т.п.).

По нашему мнению достигнуть эффекта усиления узла возможно за счет введения бетона в узловые соединения прямоугольных труб.

Идея усиления металлических труб бетоном или применение трубобетона в практике строительства известна уже около 100 лет. Трубобетон применяется в мостостроении, колоннах каркасов зданий, опорах линий электропередач, в машиностроении. Бетоном заполняют как трубы круглого сечения, так и прямоугольного и квадратного сечения. Эффективность трубобетонных конструкций связана с возникновением трехосного объемного напряженного состояния бетона («эффект обоймы»). Одним из главных недостатков применения обычных бетонов для таких конструкций является возможность отставания бетонного ядра от стенки трубы вследствие усадки бетона при твердении. Кроме того в сжатых элементах вследствие разницы коэффициентов Пуассона бетона и металла в процессе нагружения также возможно отставание бетонного ядра от стенок трубы.

Применение бетонов на напрягающихся цементе позволяет избежать потери сцепления бетонного ядра со стенкой трубы.

История создания бетонов на безусадочных и расширяющихся цементах также достаточно большой период и направлено было как на компенсацию усадки бетона, так и на создание положительного расширения с целью придания усилий расширения в конструкциях. Первый патент на расширяющийся цемент был получен в 1937 году. (British Patent No 474917 "Expansive Cements"). Промышленное производство ВРЦ (Водонепроницаемого расширяющегося цемента) было организовано в 40-х годах. В 50-х годах были созданы напрягающиеся цементы, способные при расширении вяжущего напрягать арматуру железобетона.

Бетоны на напрягающих цементах применяются для труб, дорожных, аэродромных покрытий, сборно-монолитных оболочек спирально-самонапряженных колонн станций метро глубокого заложения, емкостных самонапряженных резервуаров для воды и нефтепродуктов.

Кроме того применение бетонов на напрягающих цементах позволяет получить совершенно новые эффекты - предварительное напряжение трубы в поперечном и продольном направлениях, выполнять усиление узловых соединений из труб и получать новые предварительно-напряженные конструкции из труб (рис.1).

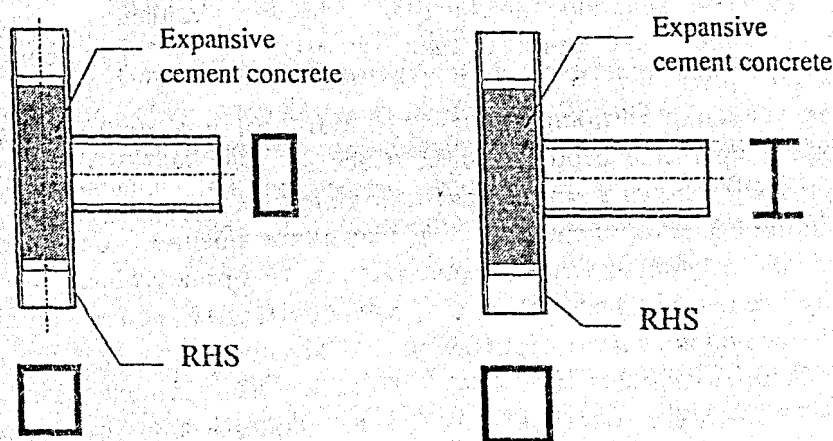


Рис.1. Усиление узлов бетоном на напрягающих цементах.

Для проверки возможности усиления узлов конструкций из прямоугольных труб на первом этапе исследований была подготовлена серия образцов из прямоугольных труб сечением 70x70x3 мм. с длиной образца 400 мм. Нижний конец трубы был закрыт герметично специальной заглушкой, второй конец трубы закрывался после

заполнения ее бетоном. Для определения напряженно-деформированного состояния трубы в процессе твердения бетона на напрягающем цементе в ней был подготовлен стенд для фиксации перемещений стенок трубы (Рис 2).

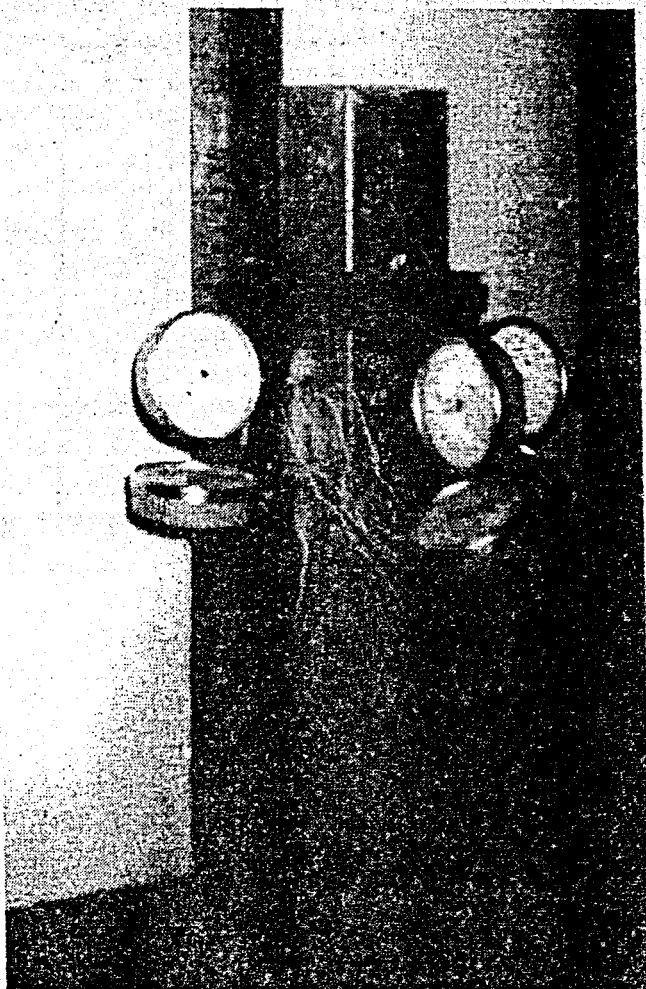


Рис.2. Определение деформаций трубы в процессе твердения бетона.

Влияние расширения бетона на напряженно-деформированное состояние трубы исследовалось с помощью индикаторов часового типа с чувствительностью 0.002 мм и тензорезисторов 2ПКП-10-100В по ТУ 25-06-1382-78 с $R=100$ Ом и $K=0.66$. Схема размещения

индикаторов часового типа и тензорезисторов на образце приведена на рис.3.

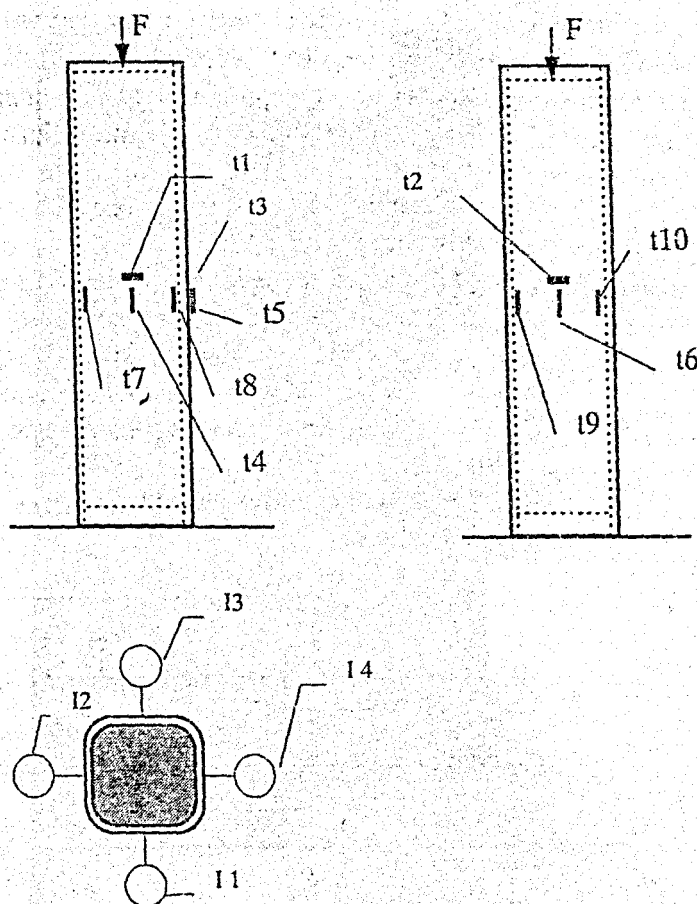


Рис. 3. Схема расположения приборов
11-14 - индикаторы, t1-t10 - тензорезисторы

Для исследований был применен мелкозернистый бетон с маркой по самоупрочению $Sr_{3,4}$ по СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции (Госстрой СССР.- М.; ЦИТП Госстроя СССР 1985-89 г.) имеющий состав: напрягающий цемент-1часть, песок -1часть, водоцементное отношение 0,4. Бетон был приготовлен на напрягающем цементе изготовленном Лабораторией самоупроченных конструкций БрПИ, и состоял из портландцемента, глиноземистого цемента и гипсового камня. После заполнения бетоном трубы и его

уплотнения открытый торец был герметично закрыт. Твердение бетона происходило в герметично закрытом объеме.

Определение марки мелкозернистого бетона по самоупрочению проводилось в соответствии с [7]. Для чего изготавливались контрольные образцы призмы $100 \times 100 \times 400$ мм. Отформованные образцы укались пленкой для защиты от потери влаги и хранились до набора прочности около 10 МПа. Дальнейшее твердение образцов происходило в воде.

Марка мелкозернистого бетона по самоупрочению при твердении в нормальных условиях составила 3.4 МПа.

В наших образцах из труб твердение бетона на напрягающем цементе происходит в условиях отличных от «нормальных» - в герметически закрытом пространстве без притока влаги. Поэтому определение величины самоупрочения бетона являлось отдельной задачей и решалась в процессе анализа напряженно-деформированного состояния исследуемого образца.

Графики перемещений точек в сечениях трубы в процессе твердения бетона приведены на рис.4.

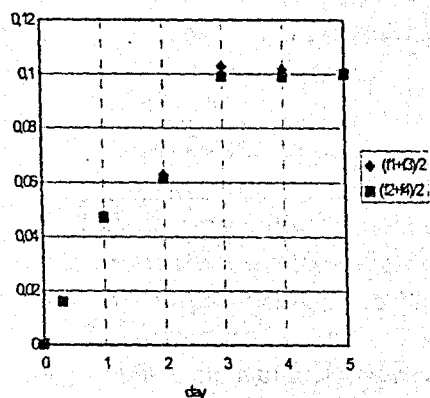


Рис.4. Перемещения стенок трубы по индикаторам I1, I2, I3, I4.

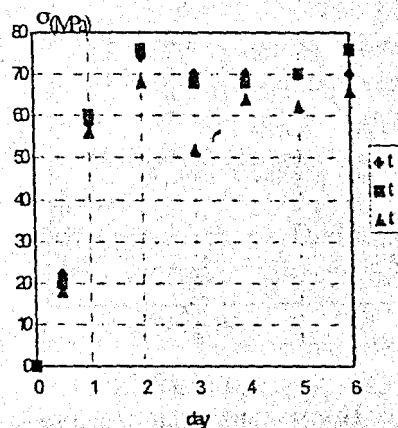


Рис.5. Нормальные напряжения в стенках трубы на внешнем контуре.

Максимальных перемещений стенки трубы достигли на третьи сутки твердения и составили 0.11 мм. После этого деформирование стенок трубы прекратилось.

На рисунке 5 приведены графики изменения фибровых нормальных напряжений на внешнем контуре стенок трубы в соответствующих точках.

На основании этих данных определялось самонапряжение бетона при его твердении в герметично закрытой трубе сечением 70x70x3.

Необходимо отметить, что в подобных условиях твердения самонапряжение бетона зависит от жесткостных параметров сечения трубы и требует дальнейших исследований. Среднее значение внутреннего давления бетона в трубе составило ~0.7 Мпа.

На следующем этапе эксперимента было выполнено исследование сил сцепления бетонного ядра со стенками квадратной трубы методами тензометрии. При исследовании использовались тензорезисторы схема расположения которых приведена на рисунке 2. Величина сил сцепления бетонного ядра со стенками трубы сечением 70x70x3 мм. длиной 400 мм. составила 60 КН. На рисунках 6 и 7 приведено изменение осевых нормальных напряжений в отдельных точках стенки трубы при выдавливании бетонного ядра.

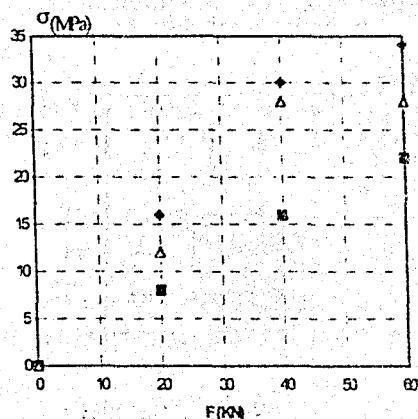


Рис. 6. Нормальные напряжения в середине стенок трубы при выдавливании бетона силой F , бетонного ядра.

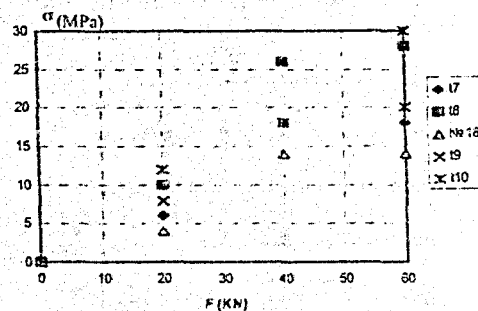


Рис. 7. Нормальные напряжения в углах трубы при выдавливании бетона силой F , бетонного ядра.

ВЫВОДЫ

1. Получен эффект предварительного напряжения сечения квадратной трубы в поперечном направлении.

2. Обеспечивается надежное сцепление бетонного ядра из бетона на напрягающем цементе с внутренней поверхностью стенок трубы.

3. Вышеперечисленные эффекты позволяют выполнять усиление узловых соединений

Литература

1. Prediction of the non-linear behaviour of the beam-to-column connections with rectangular hollow section .-M.Broniewicz & J.Szlendak.- Tubular Structures VII. 1996.
2. Определение податливости узловых соединений из прямоугольных труб. - Мухин А.В. , Зинкевич И.И.— Металлостроительство—96 (Состояние и перспективы развития) : Международная конференция. Сборник трудов , т2, Донецк - Макеевка - 1996. - 132с.
3. Прочность трубобетона. — Под ред. Лукша Л.К.— Мн. : « Высшэйшая школа », 1977.—95 с.
4. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. --Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Труль В.А.—М. : Стройиздат, 1974.—144с.
5. Трубобетонные конструкции. —Под ред. Сторбженко Л.И. — К. : «Будівельнік», 1978.—90с.
6. Расширяющийся и напрягающий цементы в самоупроченных железобетонных конструкциях. - Михайлов В.В., Литвер С.А. - М.: Стройиздат, - 1974.-312с.
7. Инструкция по проектированию самоупроченных железобетонных конструкций . СН 511-78. Госстрой СССР.- М.: Стройиздат, - 1979. - 59с.