

**КОНСТРУКЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ОБЖАТЫХ  
ТРУБОБЕТОННЫХ КОЛОНН  
ГОРОДСКИХ СООРУЖЕНИЙ И ЗДАНИЙ**

**Михаил Юрьевич Наркевич**

*Доцент кафедры строительных конструкций  
архитектурно-строительного факультета ФГБОУ ВПО «Магнитогорский  
государственный технический университет им. Г.И. Носова», г.Магнитогорск,  
кандидат технических наук*

В последнее время в экономически развитых странах мира все чаще успешно используются стержневые вертикальные несущие элементы, обладающие высокой несущей способностью, надежностью и долговечностью при малых поперечных сечениях. К указанным элементам относятся, прежде всего, трубобетонные колонны, представляющие собой композитные конструкции из стальной трубы, заполненной бетоном.

В работах Кришана А.Л. показано, что трубобетонные элементы классической конструкции имеют существенный конструктивный недостаток. Он заключается в сложности обеспечения совместной работы бетонного ядра и внешней стальной оболочки при эксплуатационных нагрузках. В результате оболочка включается в работу в качестве стальной обоймы только после начала процесса микротрещинообразования в бетоне. Это отрицательно влияет на эффективность работы трубобетонных колонн (ТБК). Кроме того, в местах передачи нагрузок на колонну от перекрытий может оказаться недостаточным сцепление между бетонным ядром и стальной оболочкой.

Для преодоления данного недостатка ТБК предлагается изготавливать с предварительным обжатием бетонного ядра в поперечном направлении (ПО ТБК).

Для изготовления лабораторных образцов ПО ТБК в зависимости от используемого способа длительного прессования бетонной смеси использовались два варианта специально сконструированной установки (рис. 1).

Данная установка позволяет изготавливать элементы из опрессованного бетона практически любых размеров. По конструкции она достаточно проста и состоит из следующих основных компонентов:

- насосная станция;
- маслостойкие шланги высокого давления для транспортирования рабочей жидкости (в качестве рабочей жидкости используется моторное масло);
- вентили высокого давления для отсекаания насоса;
- манометр для измерения избыточного давления в системе;
- вибростол;
- жесткий каркас из четырех стержней.

Для изготовления опытных образцов применялась технологическая оснастка, которая состояла из следующих вспомогательных частей:

- стальные тяжи;
- верхняя наборная крышка;
- нижняя наборная крышка;
- направляющий стержень;
- перфорированные трубки 1-й и 2-й стадий прессования.

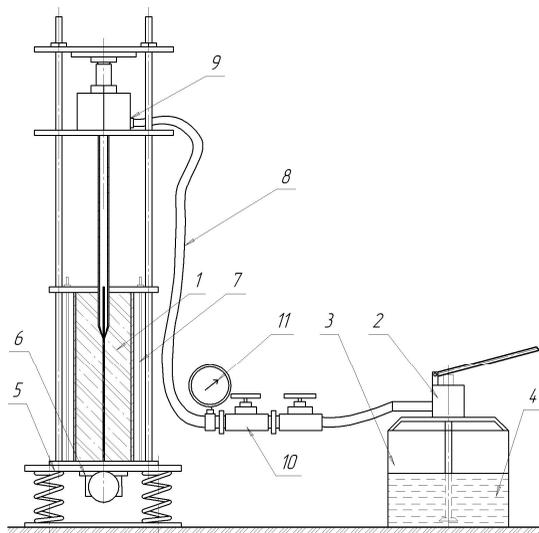
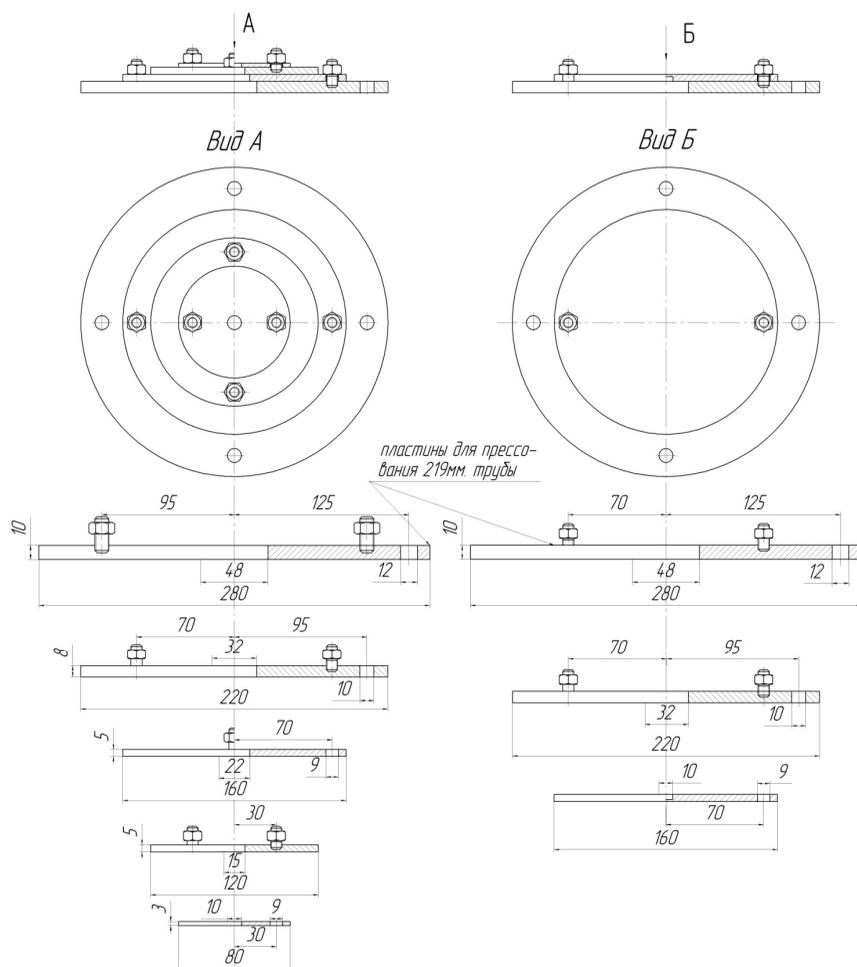


Рис. 1. Установка для изготовления ПО ТБК с внутренним стальным трубчатым сердечником:

- 1 – образец; 2 – насос; 3 – емкость для рабочей жидкости; 4 – рабочая жидкость;
- 5 – вибростол; 6 – электродвигатель с дисбалансом; 7 – стальные тяжи;
- 8 – шланг высокого давления; 9 – домкрат; 10 – вентиль высокого давления;
- 11 – манометр для контроля давления в системе

Используемая технология позволяла изготавливать образцы с предварительно обжатым ядром и внутренним стальным трубчатым сердечником. Прессующее давление на бетонную смесь передавалось через вдавливаемые в нее перфорированные стальные трубки разного диаметра. Направляющий стержень предназначен для центрирования этих стальных трубок по геометрической оси образца. На боковой поверхности трубок с определенным шагом были просверлены отверстия диаметра порядка 1,5-2,2 мм в зависимости от диаметра самих трубок. Эти отверстия предназначены для более эффективного отвода отжимаемой из бетонной смеси воды. Верхняя наборная крышка состояла из нескольких пластин, которые по центру имели отверстия, по диаметру соответ-

вующие диаметрам стальных трубок, вводимых в бетонную смесь. Диаметр отверстия в первой пластине соответствовал диаметру самой первой вводимой трубки, диаметр отверстия во второй пластине – соответственно диаметру второй вводимой трубки и т.д. Нижняя наборная крышка состояла из двух пластин, одна из которых имела диаметр, соответствующий максимальному диаметру, вводимой в бетонную смесь трубки и закрывающей пластины без отверстий, обеспечивающей герметичность внутреннего пространства. Общий вид верхней и нижней наборных крышек показан на рис. 2.



**Рис. 2. Наборные пластины:**  
а – верхняя; б – нижняя

Изготовление лабораторных образцов ТБК производилось на стенде следующим образом. Первоначально к стальной внешней трубе временно крепились нижняя наборная пластина, которая по краям имела четыре отверстия для пропуска стальных тяжей. Центровку верхней и нижней наборных пластин и трубы обеспечивали стальные направляющие, наваренные по окружности трубы. Затем труба с нижней наборной пластиной надежно закреплялась на вибростоле болтами. Коаксиально трубе устанавливался направляющий стержень диаметром 10 мм. Проектное положение направляющего стержня в трубе обеспечивалось центральными отверстиями в верхней и нижней наборных пластинах.

После этого труба послойно (по 150-200 мм) заполнялась бетонной смесью. Уплотненная вибрированием смесь по окончании формования закрывалась верхней наборной пластиной. Нижняя и верхняя наборные пластины стягивались стальными тяжами.

По истечению времени, необходимого для начала схватывания цемента, начинался процесс прессования, который проходил в три стадии для образцов с диаметрами сечений 106, 115 и 159 мм и в четыре стадии для образца диаметром 219 мм. Технология прессования и стадии изготовления показаны на рис. 3. На направляющий стержень насаждалась первая перфорированная трубка диаметром 15 мм, конец которой был заострен под диаметр направляющего стержня (I стадия). Трубка вдавливалась в бетонную смесь по направляющему стержню со скоростью порядка 5-10 мм/с.

В процессе раздвижки и уплотнения бетонной смеси, в ней создавалось избыточное давление. При этом отжимаемая из смеси вода через отверстия на боковой поверхности трубки устремлялась в ее полость. По внутренней полости трубки, а также через щели между наборными пластинами и внешней трубчатой оболочкой вода выводилась наружу. После того как вода переставала отжиматься, начинали вторую стадию прессования. В бетонную смесь вводили перфорированную трубку диаметром 22 мм, которая создавала большее по величине прессующее давление и отжимала еще какое-то количество воды. Затем образец подвергали третьей стадии прессования. В этой стадии отжатия воды уже практически не наблюдалось. Через бетонную смесь прессующее давление передавалось на стальную внешнюю трубу-оболочку и создавало в ее стенках предварительные растягивающие напряжения.

В образцах диаметром 159 мм внутренняя трубка диаметром 32 мм не имела перфорации стенок. Ее оставляли в бетонном ядре в качестве стального сердечника, исключая возможность распрессовки бетона.

Прессование образцов диаметром 219 мм проходило в четыре стадии. Три стадии прессования были аналогичны образцам диаметром 159 мм. Только в третьей стадии трубка 32-го диаметра применялась перфорированной. В четвертой стадии в уплотненную смесь вдавливалась трубка диаметром 48 мм без перфорации, которая затем служила стальным сердечником бетонного ядра.

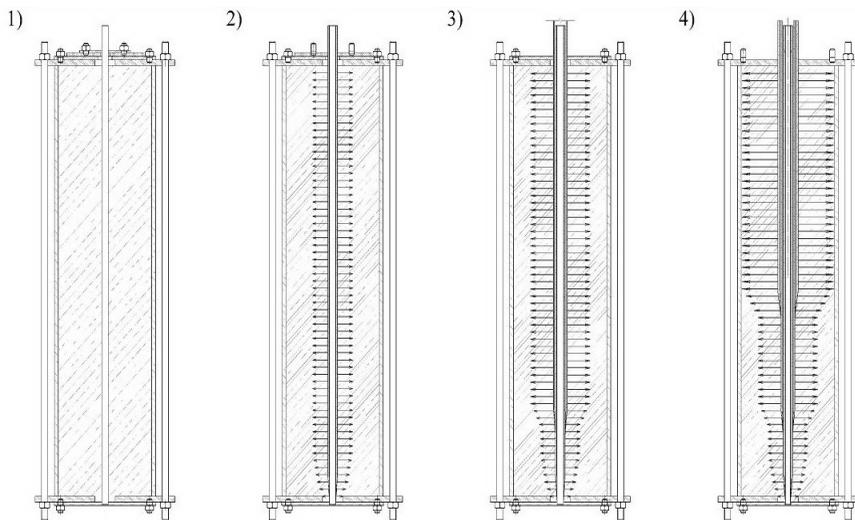


Рис. 3. Этапы изготовления образца:

1 – заполнение трубы бетонной смесью; 2 – I стадия прессования трубкой  $\varnothing 15$  мм; 3 – II стадия прессования трубкой  $\varnothing 22$  мм; 4 – III стадия прессования трубкой  $\varnothing 32$  мм (для трубы  $\varnothing 159$  мм – конечная, для трубы  $\varnothing 219$  мм применяли IV стадию прессования трубкой  $\varnothing 48$ )

По истечении 48 часовой выдержки стальные тяжи ослаблялись, с образца снимались верхняя и нижняя наборные крышки, все перфорированные трубки извлекались. После зачистки торцов образцы закрывались торцевыми крышками, имеющими размеры, соответствующие наружному диаметру образца. Крышки приваривались к трубе, за счет чего бетон ядра находился в условиях, благоприятных для твердения.

При осуществлении прессования бетонной смеси посредством пустотообразователя схема установки мало чем отличалась от изображенной на рис. 1. Единственным принципиальным отличием здесь являлось наличие пустотообразователя на месте направляющего стержня и внутренних стальных трубок. Создание прессующего давления осуществлялось за счет нагнетания масла во внутреннюю полость пустотообразователя.

Конструкция пустотообразователя показана на рис. 2 и 3. Стальная перфорированная трубка служит для придания пустотообразователю необходимой жесткости. Для восприятия продольных усилий, возникающих от действия давления внутри резинового рукава, торцы у пустотообразователя выполнены по типу концевых неразъемных соединений шлангов высокого давления. Характеристики используемых в данной работе пустотообразователей приведены в табл. 1 (обозначения приняты по рис. 2).

Изготовление лабораторных образцов ТБК производилось следующим образом. Первоначально к стальной трубе временно крепились нижняя торцевая пластина, у которой в центре имелось отверстие для фиксации положения пустотообразователя, а по краям шесть отверстий для вставки тяжей. Центровка торцевой пластины производилась совмещением предварительно нанесенных рисок на ней и трубе.

Затем труба с нижней торцевой пластиной устанавливалась и надежно закреплялась на вибростоле болтами. Сверху в нее по продольной оси вставлялся пустотообразователь, предварительно обернутый фильтрующей тканью, которая защищала резиновый рукав от возможных повреждений и одновременно фильтровала отжимаемую воду. Коаксиальность пустотообразователя в трубе кроме отверстия в нижней торцевой пластине, обеспечивали специальные центрирующие устройства в верхней части.

На третьем этапе труба послойно (по 150-200 мм) заполнялась бетонной смесью и уплотнялась вибрированием. По окончании процесса формирования бетонной смеси труба закрывалась верхней торцевой пластиной. Нижняя и верхняя торцевые пластины стягивались стальными тяжами.

Таблица 1

Характеристики пустотообразователей

Марка пустотообразователя	Геометрические размеры, мм			Рабочее давление, МПа
	L	L <sub>0</sub>	D	
П600	800	580	40	5,0
П1000	1200	980	40	7,0

Отформованный образец с помощью тельфера транспортировался в зону, в которой располагалась установка для прессования, и устанавливался на специальный подиум в вертикальном положении. После начала схватывания цементного теста в пустотообразователь нагнеталась рабочая жидкость, за счет чего в нем создавалось избыточное давление порядка 0,5-1,0 МПа. Стенки резинового рукава под воздействием давления растягивались и опрессовывали бетонную смесь. В продольные прорезы на пустотообразователе через фильтрующую ткань устремлялась отжимаемая из бетонной смеси вода. По этим прорезам, а также через щели между торцевыми пластинами и трубой вода выводилась наружу. После отжатия воды давление со скоростью приблизительно 0,1 МПа/мин доводилось до проектного (5-7 МПа), вентили высокого давления запирались. При этом через бетонную смесь прессующее давление передавалось на стальную внешнюю трубу, растягивая ее стенки. Вследствие этого происходило предварительное напряжение стальной оболочки.

Для контроля величины растяжения стенок оболочки на нее были наклеены и герметизированы электротензорезисторы с базой 5 мм. Показания с электротензорезисторов снимались с помощью прибора АИД-1М. В таком состоянии образец находился 48 часов.

После выдержки изготавливаемого элемента в течение необходимого времени давление в пустотообразователе постепенно (за 10-20 минут) снижали до атмосферного. Резиновая оболочка пустотообразователя возвращалась в исходное положение, и он легко извлекался. В этот момент наблюдалось снижение напряжений в стальной оболочке (на 5-17%), которое фиксировалось прибором АИД-2М. Тяжи ослаблялись, и снимались верхняя и нижняя торцевые пластины. После зачистки торцов изготовленного образца к нему приваривались сплошным швом торцевые крышки, за счет чего бетон ядра находился в условиях, благоприятных для твердения.

Таким образом, разработаны новые технология, установка и оснастка для изготовления трубобетонных элементов с предварительно обжатым ядром, позволившие обеспечить эффективный отвод отжимаемой из бетонной смеси воды, что положительно сказалось на физико-механических свойствах прессованного бетона.

### **Библиографический список**

1. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны для многоэтажных зданий // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – №4, 2009. - С. 75-80.
2. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны с предварительно обжатым ядром: Монография – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. – 372 с.