

Рисунок 5 – Корреляционные зависимости «вторая производная» для образцов из бетона класса 16/20 в возрасте 60 суток

Полученные данные можно использовать при прогнозировании работы керамзитожелезобетонных конструкций, зданий и сооружений, работающих в условиях как элементарного, так и сложного деформирования. В этой связи для образцов из керамзитобетона класса 16/20 и 10/12,5 были определены следующие характеристики: кубиковая и призмная прочности, модули продольных и поперечных деформаций, модуль сдвига, объемные деформации, коэффициент Пуассона, пределы верхнего и нижнего микротрещинообразования.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона: ГОСТ 24452-80 / Госкомитет СССР по делам строительства. – М., 1981. – 20 с.
2. Семенюк, С.Д. К определению модуля упругости и упругопластических характеристик бетона при кратковременном центральном сжатии // Вестн. БГТУ. – 2001. – №1. Строительство и архитектура. – С. 40-44.
3. Семенюк, С.Д. Железобетонные пространственные фундаменты жилых и гражданских зданий на неравномерно деформируемом основании: монография / С.Д.Семенюк – Могилёв: Белорус.-Рос. ун, 2003. – 269 с.
4. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е.Гмурман – М.: Высш. шк., 1977. – 479 с.

УДК 693.54:624.016

*Семко А.В., Гукасян О.М.*

### ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНИРОВАНИЯ ТРУБОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ИХ НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

**Постановка проблемы.** В последние 50 лет в Украине активно проводятся исследования трубобетонных конструкций. В настоящее время изучены особенности работы трубобетонных элементов в зависимости от их геометрических характеристик, физико-механических свойств бетона ядра и материала оболочки,

напряженно-деформированного состояния, способа приложения нагрузки и т.д. Но практически отсутствуют исследования влияния технологии бетонирования ядра трубобетонных элементов на прочность конструкции в целом.

Таким образом, исследование о технологии бетонирования трубобетонных элементов на их несущую способность и надежность является актуальной научной задачей, которая имеет теоретическое и практическое значение.

**Обзор последних источников, исследований и публикаций и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Проведенный анализ изменчивости физико-механических свойств материалов, из которых состоят трубобетонные конструкции [1], показывает, что наибольшую неоднородность свойств имеет бетон. Прочность бетона зависит не только от количества и качества заполнителей и в значительной степени определяется рядом производственных факторов, в частности точностью дозирования компонент, условиями перемешивания и уплотнения бетонной смеси и способами ее транспортировки. На современных заводах цемент, воду и добавки дозируют с точностью  $\pm 1\%$ , а заполнители  $\pm 2\%$ . Однако на практике встречаются гораздо большие отклонения. Наряду с этим вследствие характерных особенностей твердения и напряженно-деформированного состояния бетона трубобетонных конструкций их прочность и деформативность могут существенно меняться. Выявление и учет этих закономерностей требует особого внимания.

Основным примером влияния условий бетонирования на показатели однородности бетона является вертикально бетонируемые трубобетонные конструкции. Ведь, как известно [2], обжатие бетонной смеси увеличивает прочность бетона. Многочисленными исследованиями [3, 4, 5] установлено, что изоляция от внешней среды бетонной смеси в трубе благоприятно влияет на прочность бетона. Вместо ожидаемой усадки происходит набухание бетона и его расширение, при этом прочность бетона повышается на 10 ... 15%, которое сохраняется в течение многих лет и создает благоприятные условия для работы под нагрузкой. Ползучесть бетона в трубобетонных элементах, проявляется в меньшей степени, чем в обычных железобетонных конструкциях и не столь существенно влияет на изменчивость модуля деформаций бетона в зависимости от времени.

Между тем, существенное влияние на прочность конструктивных элементов, содержащих бетон, имеет технология изготовления и уплотнения бетонной смеси, особенно в осложненных условиях бетонирования при необходимости укладки ее в ограниченное пространство (обойму), что характерно именно для трубобетонных конструкций. Все эти факторы, обуславливающие возникновение возможной неоднородности бетонного ядра по объему конструктивного элемента, на сегодня недостаточно исследованы.

Таким образом, **цель работы** заключается в продолжении экспериментальных исследований влияния условий изготовления сталежелезобетонных (в частности трубобетонных) конструкций на изменение физико-механических характеристик бетона на их несущую способность, прочность и деформативность. Прочность бетона зависит от многих технологических факторов, таких как водоцементное отношение (В/Ц), марка цемента, условий и срока твердения. К другой группе факторов, которые также влияют на прочность бетона (хотя и не так существенно), относятся вид цемента, качество заполнителей, условия приготовления бетонной смеси, ее транспортирования и укладки [2, 3, 6, 7.].

**Задачи и программа экспериментальных исследований трубобетонных элементов с дефектами ядра.** Основной задачей экспериментальных исследований является получение данных о влиянии различных типов наиболее распространенных дефектов (неоднородность прочности бетона по высоте образца (серия ТБк) и наличие полостей и раковин (серия ТБп), обусловленных технологией бетонирования трубобетонных элементов, на их характер работы, прочность и деформативность с целью разработки рекомендаций по оптимизации технологии изготовления трубобетонных конструкций.

Принятая программа экспериментальных исследований предусматривала испытания на сжатие коротких трубобетонных элементов (с соотношением размеров  $l = 4D$ ), имеющие разнообразные ослабление бетонных сердечников по высоте образца. Во время проведения эксперимента варьируемыми параметрами были состав бетона (на двух уровнях:  $f_{cm,cube} = 18,7$  и  $41,2$  МПа) и наличие искусственно созданных послаблений (дефектов бетонирования) бетонного ядра.

Для решения поставленной задачи было изготовлено 15 экспериментальных образцов. Десять образцов труб-оболочек заполненные слоями бетоном по различным схемам: по всей высоте бетоном одной прочности (ТБк-1 и ТБк-2); заполнением бетоном различной прочности на половину высоты (ТБк-3 и ТБк-4); заполнением бетоном различной прочности на 1/4 высоты с торцов образца (ТБк-5 и ТБк-6); различной прочности на 1/3 высоты образца (ТБк-7, ТБк-8, ТБк-9, ТБк-10). Также для исследования характеристик трубобетонных элементов с дефектами ядра труб-оболочек заполнение осуществлялось бетоном одной прочности по всей высоте образца с искусственно созданным ослаблением по всей высоте, сечением  $30 \times 30$  мм, которые размещались у стенки трубы (ТБп-1 и ТБп-2) и в центре образца (ТБп-3 и ТБп-4), а также один образец с образованным ослаблением в виде раковины размером  $30 \times 30 \times 60$  мм, который размещен по середине высоты у стены трубы (ТБп-5). Для образования полостей и раковин (искусственных дефектов) использовались бруски пенополистирола [7].

При проведении испытаний опытных образцов фиксировались два характерных состояния: предел текучести  $N_u$  и предел прочности (разрушение) образца  $N_u$ . Значение усилий  $N_u$ ,  $N_u$ , относительных деформаций и характер разрушения опытных образцов приведены в таблице 1.

Несущая способность экспериментальных образцов серии ТБк колебались не в значительных пределах  $N_1$  от 338 до 386 кН, что составляет 12,4% и  $N_2$  от 432 до 514 кН (15,9%). Максимальные значения несущей способности ( $N_2$ ) на 19 ... 29% превышали значения нагрузок при начале текучести трубы ( $N_1$ ). В среднем  $\Delta N$  (разница между  $N_1$  и  $N_2$ ) составляла 25% (табл. 1). Несущая способность экспериментальных образцов серии ТБп имеет больший разброс значений:  $N_1$  изменялась от 318 до 414 кН, что составляет 23,2%,  $N_2$  от 330 до 480 кН (31,2%). Так, например, несущая способность образца ТБп-5 на 31% превышает несущую способность образца ТБп-3. Это свидетельствует о влиянии имеющихся дефектов трубобетонного ядра на их несущую способность.

Следует отметить, что незаполненный бетоном стальной элемент имеет значительно меньшие остаточные деформации, чем аналогичный трубобетонный элемент. Это свидетельствует о том, что в отличие от трубобетонного, стальной элемент не работает в пластике, а его разрушение происходит вследствие потери местной устойчивости.

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов

Шифр и номер образца	Предельные усилия			Относительные деформации		Характер разрушения образца
	при пределе текучести $N_{0.2}$ , кН	при полной потере несущей способности $N_u$ , кН	разница между $N_{0.2}$ и $N_u$ , %	при пределе текучести $\epsilon_{0.2}$ , %	при полной потере несущей способности, $\epsilon_u$ , %	
Серия ТБк						
ТБк-1	575	850	11,76	1,39	5,45	Образование гофры на конце образца и искривление продольной оси элемента
ТБк-2	330	454	27,31	1,33	5,25	
ТБк-3	345	484	28,72	1,80	4,00	Разрушение происходило в части ослабления прочности бетона и образовывались гофры
ТБк-4	368	484	23,97	1,97	4,25	
ТБк-5	384	514	25,29	2,43	3,50	Образовалась гофра и расширение в месте заполнения бетоном меньшей прочности
ТБк-6	342	432	20,83	2,60	3,75	Образовалась гофра сверху и снизу образца.
ТБк-7	338	484	30,17	2,87	5,75	Вмятина и гофра посредине образца
ТБк-8	358	498	28,11	2,35	5,25	
ТБк-9	386	480	19,58	2,43	5,00	Образовались гофры в верхней и нижней части образца
ТБк-10	362	476	23,95	2,04	4,50	
Серия ТБп						
ТБп-1	332	436	23,85	2,93	5,75	Образовались гофры в верхней части образца и в центре, в бетонном сердечнике наблюдаются трещины
ТБп-2	320	376	14,89	3,08	6,25	
ТБп-3	318	330	3,64	3,06	6,25	Образовались гофры в верхней части образца, но в бетонном сердечнике трещины не наблюдаются
ТБп-4	414	450	8,00	2,63	6,50	
ТБп-5	408	480	15,00	1,97	3,00	Образовалась гофра и вмятина в месте полости

**Характер разрушения опытных образцов труботетонных элементов с дефектами ядра.** При выполнении эксперимента все образцы имели схожий характер разрушения. Линии Людерса-Чернова появлялись уже при загрузке 0,5 N/Nu, сначала у места приложения усилия, а позже и по всей высоте образца. Образуются характерные для труботетона гофры в приопорных частях образца. Разрушение трубы-оболочки образцов происходило в результате значительных деформаций и расширения бетона. Пластическая работа образцов наблюдалась в диапазоне 0,7-0,95 N/Nu, но место имеют и определенные особенности.

Так, например, при испытании образца ТБк-2 – заполненных бетоном средней кубиковой прочности 41,2 МПа по всей высоте трубы-оболочки, при 0,6 N/Nu появлялись линии Людерса-Чернова, а при загрузке 0,8 N/Nu образовывались гофры в верхней части образца, в сердцевине трещины не наблюдались (рис. 1). В сравнении с результатами испытаний образца ТБк-10, который слоя-

ми заполненный бетоном прочности 18,7 и 41,2 МПа на 1/3 высоты, гофры образовались в местах ослабления прочности бетонного ядра. При разрезании металлической оболочки трещины бетонного ядра не наблюдались практически для всех образцов серии ТБк, кроме ТБк-8 и ТБк-7.

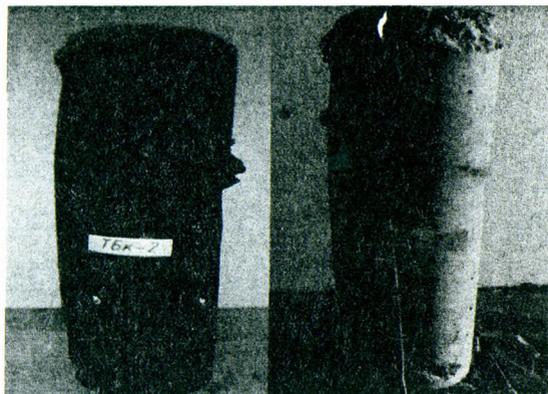


Рисунок 1 – Образец ТБк-2 после испытания

Образцы серии ТБп, заполненные по всей высоте бетоном одной прочности с искусственно образованными ослаблениями. Так, при испытании образца ТБп-1, с дефектом бетонирования у стенки трубы оболочки, при 0,7 N/Ну появлялись линии Людерса-Чернова, а при загрузке 0,8 N/Ну образовались гофры в верхней части образца и в центре. Также в бетонном сердечнике появились трещины, обусловленные искусственно образованными дефектами бетонирования (рис. 2). Способ разрушения образца ТБп-3, который с искусственно образованными ослаблениями в виде призмы с пенопласта в центре образца, отличался от ТБп-1. Линии Людерса-Чернова появлялись при 0,8 N/Ну, а гофры в верхней части образца образовались при загрузке 0,9 N/Ну (рис. 3.).



Рисунок 2 – Образец ТБп-1 после испытания

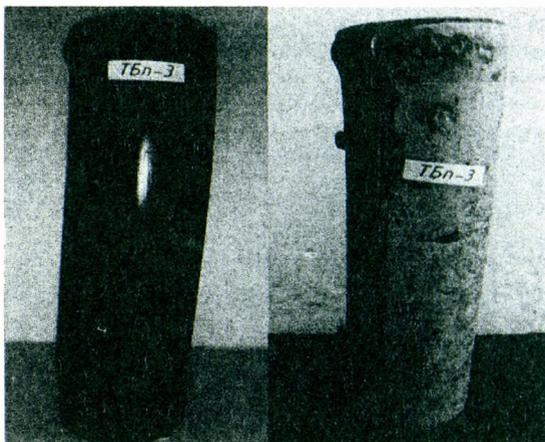


Рисунок 3 – Образец ТБп-3 после испытания

Тип и параметры искусственно созданных повреждений ядра трубобетонных элемента образцов (серия ТБп и ТБк) существенно влияют на их несущую способность: образование полостей по всей длине образца приводит к снижению несущей способности трубобетонных элемента в пределах от 10 до 30% по усилию, соответствующему пределу текучести ( $N_y$ ), и от 20 до 35%, что соответствует полной потере несущей способности ( $N_u$ ). Гофры и трещины появляются в местах ослабления бетонного ядра, независимо от вида дефекта (рис. 4). После разрезания металлической оболочки образцов серии ТБп обнаружены дефекты бетонирования, а также она легко отделяется от бетонного ядра, что свидетельствует о незначительном сцепления бетона с оболочкой по сравнению с образцами серии ТБк.

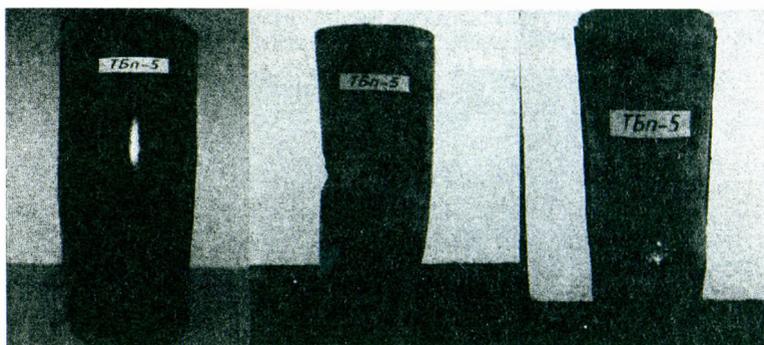


Рисунок 4 – Образец ТБп-5 после испытания на прочность

Так, для элементов с пустотами по всей высоте образца характерно образование продольных трещин. Образцы с переменной прочностью бетона по высоте имели более пластичный характер разрушения вследствие потери устойчивости трубы-оболочки в пластичной стадии работы.

**Выводы.** Тип искусственно созданных повреждений бетонного ядра исследованных трубобетонных образцов существенно влияет на их несущую способность. Так, образованные пустоты по высоте образца приводят к снижению несущей способности трубобетонных элементов в пределах от 10 до 15% по усилию, которое соответствует пределу текучести ( $N_y$ ), и от 20 до 30%, ( $N_u$ ) что соответствует полной потере несущей способности. Изменение прочности бетона по высоте образца приводит к снижению несущей способности трубобетонных элементов до 10%.

Анализируя неоднородность прочности образцов серий ТБк и ТБп, можно сделать вывод, что наименьшую несущую способность имеют образцы, которые имеют дефекты ядра в виде пустот, расположенных по центру и возле стенки грубы-оболочки образца.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Семко, О.В. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій: монографія / О.В. Семко, О.П. Воскобійник. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – 514 с.
2. Кикин, А.И. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном [текст] / А.И. Кикин, Р.С. Санжаровский, В.А. Труль. – Москва: Стройиздат, 1974. – 145 с.
3. Семко, О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій [Текст]: монографія / О.В. Семко. – К.: Сталь, 2004. – 316 с.
4. Стороженко, Л.І. Сталезалізобетонні конструкції. Навчальний посібник / Л.І. Стороженко, О.В. Семко, В.Ф. Пенц; Полт. НТУ імені Ю. Кондратюка. – 2005. – 181 с.
5. Стороженко, Л.І. Загальні відомості про трубобетон // Сталезалізобетон: збірник наукових праць / За редакцією д.т.н., проф. Л.І. Стороженка; Полт. НТУ імені Ю. Кондратюка. – 2006. – С. 11-15.
6. Комар, А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий [текст] / А.Г. Комар. – Москва: Стройиздат, 1984. – 267 с.
7. Семко, О.В. Вплив технології бетонування осердя трубобетону на його міцність / О.В. Семко, О.П. Воскобійник, О.М. Лукасян // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наукових праць. – Рівне, 2013. – Вип. 26. – С. 200-207.

УДК 697.12.14:693.814.1

*Семко В.А., Леценко М.В.*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕНЫ ИЗ ЛСТ-ПРОФИЛЕЙ ПРИ РАЗНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРАХ**

Ограждающие конструкции на основе стальных тонкостенных профилей приобретают все большую популярность в строительной отрасли на территории стран бывшего СССР. Зарубежный опыт позволяет говорить о значительной экономической целесообразности использования таких элементов в качестве несущих и ограждающих конструкций [1, 2]. Одной из важных сфер применения легких стальных тонкостенных конструкций является возведение навесных стен в многоэтажном строительстве и несущих стен малоэтажных зданий. Но наличие в таких стенах теплопроводных включений в виде стальных профилей ставит под вопрос их теплоизоляционные характеристики. Решением данной проблемы может быть исследование показателей теплопроводности ограждающих конструкций в зависимости от их конструктивных параметров.