

дисциплин по экономике проектных решений и экономики градостроительства побудило авторов статьи проанализировать проблему и обратить внимание на отдельные вопросы экономики проектно-строительных решений.

**Ключевые слова:** экономика проектных решений; экономика градостроительства; архитектор; проектно-строительные решения; требования к объектам строительства; технико-экономические показатели; объемно-планировочные решения; конструктивные решения; технология и организация строительных работ; эффективность проектных решений.

**Golterova T.A., Obukhova N.V. PROBLEMS OF ECONOMICS OF PROJECT-BUILDING SOLUTIONS.** The lack of curricula for future architects of economics on project design and urban planning economics has prompted the authors of the article to analyze the problem and draw attention to certain issues of the economy of design and construction solutions.

**Key words:** economics of design solutions; urban planning economy; architect; design and construction solutions; requirements for construction objects; technical and economic indicators; three-dimensional planning decisions; constructive solutions; technology and organization of construction work; efficiency of design decisions.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-93-3-288-293

УДК 691.32

**Долгий В.П., Сопов В.П.**

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры  
(ул. Сумская, 40, Харьков, 61002, Украина; e-mail: vsopov@ukr.net)*

## ОСОБЕННОСТИ ПОДБОРА СОСТАВА ТРУБОБЕТОНА

В настоящее время в технологии бетона и железобетона наблюдается период революционного скачка, вызванного в основном применением высокопрочных и композитных материалов, комплексных высокоэффективных химических и минеральных добавок, дисперсного армирования и др. В условиях повышенных требований экономичности, снижение расхода металла, цемента и лесных материалов все больший интерес у строителей вызывает трубобетон.

Рассмотрены основные требования, предъявляемые к трубобетону и бетонным смесям для его изготовления. Показаны специфические особенности подбора состава трубобетонов. Представлена методика подбора составов и результаты исследований свойств бетонных смесей и трубобетонов.

**Ключевые слова:** трубобетон, бетонные смеси, подвижность, вязкость, химические добавки, минеральные добавки, нагнетание.

**Введение.** Трубобетон представляет собой бетон, заключенный в металлическую оболочку, длина которой значительно превышает размеры ее поперечного сечения. Таким образом, трубобетон является одной из разновидностей сталежелезобетонных конструкций, эффективность которых зависит от целого ряда факторов: прочностных и деформативных характеристик используемых материалов, вида нагрузок, геометрии стальной оболочки и др. В такой конструкции металлическая оболочка выполняет функции продольной и поперечной арматуры, а также выступает в роли опалубки (рис. 1). Обжатие трубой бетона препятствует развитию в нем микротрещин при нагрузке. Трубобетонные конструкции

в своем предельно напряженном состоянии способны не терять несущую способность мгновенно. Кроме того, боковое давление трубы препятствует развитию микротрещин разрыва в бетоне, который, будучи изолированным, стремится увеличить свои размеры в радиальном направлении. Такой эффект обоймы создает идеальные условия для работы бетонного ядра под нагрузкой, тем самым повышая несущую способность всего массива. В результате чего прочность при сжатии возрастает примерно на 50-80%. Стальная труба в свою очередь, благодаря благоприятному воздействию внутреннего давления твердой среды, оказывается в значительной степени, предохранена от потери местной и общей устойчивости,

*НАУКОВИЙ ВІСНИК БУДІВНИЦТВА, Т. 93, №3, 2018*

а бетон внутри защищен от коррозии. Замена железобетона на трубобетон позволяет снизить расходы бетона в два раза, трудозатраты - примерно вдвое, общую массу конструкций в 2,5 - 3,5 раза [1-3].

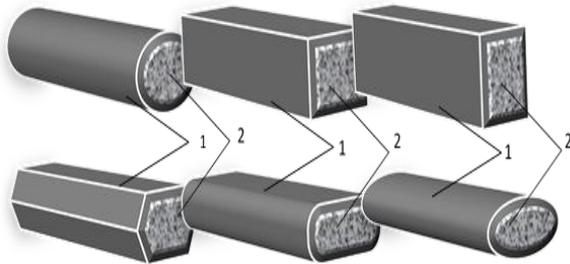


Рис. 1. Виды трубобетонных конструкций  
1 – металлическая оболочка, 2 – бетон

Область применения трубобетона достаточно широкая. Его чаще применяют в конструкциях с большими сжимающими усилиями: в колоннах, сжатых поясах арок и элементах большепролетных ферм, в мостовых опорах и пролетных строениях, стойках сооружений рамной конструкции, в несущих конструкциях общественных и жилых зданий, в опорах линий высоковольтной электропередачи, высотных радио- и телевизионных мачтах и других сооружениях [4-6].

К недостаткам использования трубобетонных конструкций можно отнести возможность расслоения бетонной смеси при заполнении труб; сложность обеспечения с поперечными размерами совместной работы бетонного ядра и оболочки вследствие возможной усадки бетона и или разности коэффициентов поперечной деформации бетона и стали. Наиболее значительным из них является сложность обеспечения совместной работы бетонного ядра и внешней стальной оболочки при эксплуатационных нагрузках. Вследствие разницы в коэффициентах поперечной деформации бетона и стали ( $\nu_b \approx 0,18 \div 0,25$ ,  $\nu_c \approx 0,3$ ) при таких условиях бетонное ядро и стальная обойма работают неэффективно [7].

Известно, что усадка бетона, твердеющего в стальной оболочке, существенно меньше усадки бетона, который твердеет на воздухе. Причем в течение первых лет твердения происходит набухание бетонного ядра [8-9]. Дальнейшие усадочные деформации зависят от ряда факторов, таких

как состав бетонной смеси, климатические параметры внешней среды и геометрические размеры самих трубобетонных элементов.

Шахворостовым А.И. и Мартиросовым Г. М. было предложено использовать напрягающий цемент в качестве вяжущего для бетонной смеси с целью получения предварительного напряжения стальной трубы за счет расширения бетона. Несущая способность трубобетонных конструкций возрастает при этом на 5-10% [10-11].

При широком использовании трубобетонных конструкций необходим высокопроизводительный способ заполнения труб бетоном, который бы обеспечивал высокую прочность и однородность бетонного ядра [12].

Упростить укладку бетонной смеси в металлическую оболочку можно с помощью самоуплотняющихся бетонов - SCC (Self-Compacting Concrete). С 70-х годов прошлого века начали применяться трубобетонные конструкции с использованием самоуплотняющегося бетона [13, 14].

Задачей данного исследования являлась разработка составов трубобетона для заполнения металлической оболочки полого рельса SkyWay [15] с размерами: максимальные поперечные размеры - ширина 120 мм, высота 350 мм (рис. 2). Длина рельса составляет около 1 км.

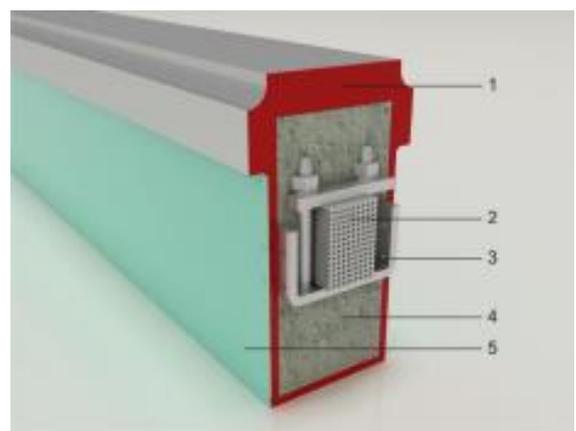


Рис. 1. Рельс-струна навесного SkyWay:  
1 – головка рельса; 2 – струна (пучок стальных проволоч); 3 – элемент крепления струны к корпусу рельса; 4 – специальный бетон; 5 – корпус рельса

Наличие пучка струн внутри рельса существенно усложняет задачу заполнения рельса бетонной смесью и предполагает использование мелкозернистого бетона.

**Материалы и методы исследования.** Для исследования были использованы цемент производства ОАО «Белорусский цементный завод» ПЦ 500 Д0, песок кварцевый молотый пылевидный фракции 0,1-0,3мм, минеральные добавки: микрокремнезем МКУ 85 производства ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат», расширяющий сульфоалюминатный модификатор РСАМ, химические добавки: суперпластификатор Sika ViscoCrete 5-600, дисперсия бутадиенстирольного каучука SikaLatex.

Для исследований применялись стандартные методы оценки подвижности, распадаемости, сохраняемости бетонной смеси, прочности бетона на сжатие. Для оценки вязкости бетонной смеси использовался ротационный вискозиметр модели FUNGILAB EXPERT L.

Полученный бетон должен обладать характеристиками, указанными в табл. 1.

*Таблица 1 - Требуемые свойства бетонной смеси и бетона*

Характеристика	Показатель
Водоцементное отношение	не более 0,4
Вязкость бетонной смеси	не более 40 Пуаз
Плотность смеси (бетона)	не более 2000 кг/м <sup>3</sup>
Прочность бетона на сжатие	не менее 60 МПа
Прочность бетона на растяжение при изгибе	не менее 3 МПа
Адгезия бетона к металлу	не менее 1 МПа
Линейное расширение бетона	не менее 0,05 %
Модуль упругости	не менее 30·10 <sup>3</sup> МПа

**Результаты исследований.** Оценка влияния различных компонентов бетонной смеси на ее свойства осуществлялось при их поэтапном введении. После получения базового состава бетона без добавок исследовалось влияние органических суперпластификаторов на изменение свойств бетонной смеси.

Влияние добавки-суперпластификатора Sika ViscoCrete 5-600 приведено в табл. 2.

*Таблица 2 - Влияние суперпластификатора на подвижность бетонной смеси*

№ п/п	В/Ц	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси, кг				Плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>	Распływ конуса, см	Расслоение
		Цемент ПЦ I 500, кг	Песок молотый, кг	Вода, л	Химическая добавка, % от массы цемента (кг)			
1	0,36	700	1080	254	0,5% (3,5)	2010	60	Нет
2	0,34	700	1080	240	0,7% (4,9)	2010	58	Нет
3	0,32	700	1080	226	1,0% (7,0)	2055	61	Есть
4	0,31	700	1080	216	1,2% (8,4)	2020	60	Есть

Введение суперпластификатора существенно влияет на подвижность смеси и величину В/Ц. Эффективная дозировка составила 0,7% от массы цемента. При большем количестве добавки наблюдалось расслоение бетонной смеси. Сохранность подвижности бетонной смеси при эффективной дозировке добавки составило 3 ч.

Добавляя активную минеральную добавку необходимо скорректировать состав таким образом, чтобы плотность смеси соответствовала общему объему всех матери-

алов. Количество цемента осталось неизменным, а МКУ-85 был введен с замещением части измельченного песка.

Влияние добавки микрокремнезема на свойства бетонной смеси приведено в табл. 3.

Расслоения смеси не наблюдалось во всех случаях.

С учетом дисперсности вводимого МКУ-85 увеличилась дозировка суперпластификатора до 1,5% от массы цемента и снизилось количество песка до 980 кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 3 – Влияние микрокремнезема на свойства бетонной смеси

№ п/п	В/Ц	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси*, кг		Рас- плыв ко- нуса, см
		Вода	Минеральная до- бавка МКУ-85, (% от массы цемента)	
1	0,39	300	70 (10%)	91
2	0,39	318	105 (15%)	90
3	0,42	350	140 (20%)	92

\* Расход цемента составлял 700 кг/м<sup>3</sup>, песка молотого – 1080 кг/м<sup>3</sup>, химической добавки Sika ViscoCrete 5-600, 0,7% от массы цемента (4,9 кг/м<sup>3</sup>)

Третий этап модификации смеси заключался во введении добавки SikaLatex, которая повышает прочность бетона на растяжение и изгиб, а также прочность его сцепления с основанием.

Контролируемыми параметрами модификации были наибольший расплыв без расслоения, предел прочности при сжатии, сохранность свойств бетонной смеси. Влияние добавки SikaLatex на свойства бетонной смеси и бетона приведены в табл. 4.

Бутадиен-стирольный латекс снижает В/Ц и существенно влияет на сохранность свойств бетонной смеси. При дозировке 15% наблюдалась самый высокий предел

прочности на сжатие, а подвижность сохранялась не менее 8 часов.

При увеличении дозировки SikaLatex более 15% наблюдалось расслоение бетонной смеси и снижение прочности бетона на сжатие (табл. 4).

Таблиця 4 – Влияние SikaLatex на свойства бетонной смеси и бетона

№ п/п	В/Ц	Расход матери- алов на 1 м <sup>3</sup> бе- тонной смеси*, кг		Рас- плыв ко- нуса, см	Предел прочности на сжатие, МПа
		Вода	SikaLatex		
1	0,33	240	35 (5%)	100	56,0
2	0,32	210	70 (10%)	105	60,2
3	0,31	190	105 (15%)	105	62,8
4	0,31	170	140 (20%)	104	59,0

\* Расход цемента составлял 700 кг/м<sup>3</sup>, песка молотого – 930 кг/м<sup>3</sup>, химической добавки Sika ViscoCrete 5-600, 2% от массы цемента (14 кг/м<sup>3</sup>), МКУ-85 – 10% от массы цемента (70 кг/м<sup>3</sup>).

Для компенсации усадки бетона была использована минеральная добавка РСАМ (расширяющийся сульфоалюминатный модификатор).

В результате проведенных исследований был получен состав бетонной смеси, отвечающий выдвинутым выше требованиям (табл. 5).

Таблиця 5 – Состав бетонной смеси

Класс бетона	В/Ц	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси, кг							Плот- ность смеси, кг/м <sup>3</sup>	Расплыв конуса, см
		Цемент ПЦ I 500	Песок моло- тый	Вода	Химические добавки		Минеральные добавки			
					Sika Visco Crete 5- 600	Sika Latex	РСАМ	МКУ		
C55/67	0,33	700	760	210	14	70	100	70	1900	105

Важным свойством бетонных смесей для трубобетона является вязкость, которую можно определить косвенным образом при производстве смеси на бетонном заводе или при выгрузке на стройплощадке с помощью определения удобоукладываемости (расплыва конуса РК). Использование ротационного вискозиметра на стройплощадке крайне затруднительно и его наличие в лабораториях заводов-производителей товарного бетона большая редкость. С этой целью был проведен ряд испытаний с определением вязкости бетонной смеси с

различными показателями РК. Для определения РК использовались стандартный конуса Абрамса. Одновременно с этим, по вискозиметру Сутгарда определялся рас-  
плыв цилиндра. Далее бетонная смесь под-  
лежала испытанию на вязкость ротацион-  
ным вискозиметром Fungilab Expert L. Со-  
отношение расплыва конуса и вязкости  
приведено в табл. 6.

Таблица 6 – Соотношение между удобоукладываемостью (РК) и вязкостью бетонной смеси

Состав бетона	Распływ конуса Абрамса, см	Распływ цилиндра Сутгарда, см	Вязкость по ротационному вискозиметру, Пуаз
Цемент - 700кг	52	10	46
Песок - 760кг, фр. (0,13-0,63 мм)	78	15	34
РСАМ - 100кг	104	20	24
МКУ - 70кг	130	25	16
Sika VC - 14кг			
SikaLatex - 70кг			
Вода - 170кг	156	30	8
Загрузка матеріалів - 1884кг			

**Выводы.** Таким образом, определяя только РК при производстве бетонной смеси или при выгрузке можно определить значение ее вязкости при выборе насосного оборудования.

Расслаиваемость бетонной смеси для составила 3%, что весьма неплохо для смеси с такой подвижностью. Средняя плотность составила 1900кг/м<sup>3</sup>. Содержание воздуха не определялось. Смесь визуально напоминает консистенцию кефира, образование крупных воздушных пор воздуховлечением не происходит в силу высокой подвижности смеси. Образцы бетона имели гладкую поверхность без видимых невооруженным глазом раковин и пор.

Бетонная смесь сохраняла свои реологические характеристики в течение 6 часов, а по истечении этого времени начала терять подвижность, но через 8 ч от начала затворения смесь остается достаточно подвижной и имеет РК=70см.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Кикин А.И. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. / А.И. Кикин, Р.С. Санжаровский, В.А. Труль. М.: Стройиздат, 1974. - 144 с.
2. Стороженко Л.И. Трубобетонные конструкции. / Л.И. Стороженко. Киев: Будівельник, 1978. - 81 с.

3. Стороженко Л.И. Трубобетон. / Л.И. Стороженко, Д.А. Ермоленко, О.И. Лапенко - Полтава: ТОВ ASMG, 2010. - 306 с.
4. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны высотных зданий / А.Л. Кришан, А.И. Зайкин, А.И. Сагадатов // Монография. – Магниторск: ООО «MiniTip», 2010. – 195 с.
5. Shams M., Saadeghvaziri M.A., "State of the art of concrete-filled steel tubular columns", ACI Structural Journal 94 (5): 558-571 Sep-Oct 1997.
6. Zhijing Ou, B. C. (2011). Experimental and Analytical Investigation of Concrete Filled Steel Tubular Columns. Journal of structural Engineering, 137, 634-645.
7. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 2. Расчет трубобетонных конструкций с металлической оболочкой // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №4 (2015). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/112TVN415.pdf>.
8. Tattersall, G. Workability and Quality Control of Concrete / Tattersall, G // London, E & FN SPON, 1991, 262 p.
9. Bartos, P. Fresh Concrete Properties and Tests / Bartos, P., Elsevier, N.Y., 1992, 292p.
10. Мартиросов, Г.М. Трубобетонные элементы из бетона на напрягающем цементе / Г.М. Мартиросов, А.И. Шахворостов // Бетон и железобетон. – 2001. – № 4. – С. 12–13.
11. Бондаренко, В.М. Сопротивление осевому сжатию сталетрубобетонных элементов круглого сечения с ядром из напрягающего бетона: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В.М. Бондаренко. – Брест, 2010. – 148 с.
12. Сопов В.П., Долгий В.П. Вплив хімічних добавок на реологічні властивості багатокомпонентних бетонних сумішей. // Науковий вісник будівництва. Харків: ПФ «Михайлов». - 2018. – Т. 92. - №2. – С. 312-318. DOI: 10.29295/2311-7257-2018-92-2-312-318.
13. Долгий В.П., Сопов В.П. Виготовлення і транспортування дрібнозернистих бетонних сумішей на великі відстані. // Науковий вісник будівництва. Харків: ПФ «Михайлов». - 2018. – Т. 91. - №1. – С. 262-268. DOI: 10.29295/2311-7257-2018-91-1-262-268.

14. Kitamura H., Nishizaki T., Ito, H., Chikamatsu R., Kamada F., Okudate M. Construction of prestressed concrete outer tank for LNG storage using high-strength self-compacting concrete // Proceedings of the International Workshop on Self-Compacting Concrete. 1999. P. 262-291.
15. Юницкий А.Э. Транспортный комплекс SkyWay в вопросах и ответах. / SkyWay Technologies Co, 2015. – 84 с.

**Key words:** concrete-filled steel tubes, concrete mixes, mobility, viscosity, chemical additives, mineral additives, injection.

**Довгий В.П., Сопов В.П. ОСОБЛИВОСТІ ПІДБОРУ СКЛАДУ ТРУБОБЕТОНА.** В даний час в технології бетону та залізобетону спостерігається період революційного стрибка, викликаного в основному застосуванням високоефективних і композитних матеріалів, комплексних високоефективних хімічних і мінеральних добавок, дисперсного армування та ін. В умовах підвищених вимог економічності, зниження витрати металу, цементу і лісових матеріалів все більший інтерес у будівельників викликає трубобетон.

Розглянуто основні вимоги, що пред'являються до трубобетону і бетонних сумішей для його виготовлення. Показані специфічні особливості підбору складу трубобетону. Представлена методика підбору складів і результати досліджень властивостей бетонних сумішей і трубобетона.

**Ключові слова:** трубобетон, бетонні суміші, рухливість, в'язкість, хімічні добавки, мінеральні добавки, нагнітання.

**Dolgiy V.P., Sopov V.P. PECULIARITIES OF SELECTING THE CONCRETE-FILLED STEEL TUBES**

Currently, in the technology of concrete and reinforced concrete, a period of revolutionary leap is observed, caused mainly by the use of high-strength and composite materials, complex high-performance chemical and mineral admixtures, disperse reinforcement, etc. In conditions of increased requirements for economy, lower consumption of metal, cement and forest materials, Interest in the builders causes concrete-filled steel tubes.

The main requirements for concrete-filled steel tubes and concrete mixtures for its manufacture are considered. The specific features of the selection of the composition of concrete-filled steel tubes are shown. The technique of selection of compositions and results of researches of properties of concrete mixes and concrete-filled steel tubes is presented.