



Сопов В. П.



Журавлев Ю. В.



Долгий В. П.

Сопов В. П., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физико-химической механики и технологии строительных материалов и изделий,

☎ +38 097-286-79-46; ✉ vsopov@ukr.net

Журавлев Ю. В., кандидат технических наук, профессор, декан механико-технологического факультета

☎ +38 097-242-03-59; ✉ jurj@ukr.net

Долгий В. П., аспирант,

☎ +38 063-564-70-23

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры (ХНУСА), ул.Сумская, 40, г.Харьков, 61002

V. Sopov, Dr Sci. (Tech), professor, Head of Department of Physico-Chemical mechanics and technology of building materials and products

☎ +38 097-286-79-46; ✉ vsopov@ukr.net

Yu. Zhuravlev, Cand. Sci. (Tech), professor, dean of the Faculty of Mechanics and Technology

☎ +38 097-242-03-59; ✉ jurj@ukr.net

V. Dolgiy, graduate student

☎ +38 063-564-70-23

Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРУБОБЕТОНА ДЛЯ СТАЛЬНОЙ ПУТЕВОЙ СТРУКТУРЫ

ВИЗНАЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРУБОБЕТОНУ ДЛЯ СТАЛЕВОЇ КОЛІЙНОЇ СТРУКТУРИ

DETERMINATION OF REOLOGICAL AND PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF PIPELINE CONCRETE FOR STEEL WAY STRUCTURE

Аннотация. Разработаны составы бетонных смесей, методика исследований и приведены результаты физико-механических испытаний трубобетона для путевой структуры технологии струнного транспорта SkyWay.

Ключевые слова: технология SkyWay, струнный рельс, высокоподвижные бетонные смеси, реакционно-порошковый бетон, прочность, звукопоглощение.

Анотація. Розроблено склади бетонних сумішей, методика досліджень і наведені результати фізико-механічних випробувань трубобетону для колійної структури технології струнного транспорту SkyWay.

Ключові слова: технологія SkyWay, струнний рейок, високорухомі бетонні суміші, реакційно-порошковий бетон, міцність, звукопоглинання.

Annotation. Formulations of concrete mixtures, methods of research and results of physical and mechanical tests of pipe concrete for the track structure of SkyWay string transport technology are presented.

Key words: SkyWay technology, string rail, high-mobility concrete mixtures, reactive-powder concrete, strength, sound absorption.

Введение

Начиная с 1977 г. российским инженером Юницким А. Э. разрабатывается инновационная технология транспорта «второго уровня» SkyWay [1], сущность ко-торой заключается в перемещении «над землей» скоростного транспорта (т.н. юни-бус) по предварительно напряженной иде-ально ровной стальной рельсовой путевой структуре, закрепленной на концах анкер-ных опор (рис. 1).



Рис. 1. Испытания 14 местного юнибуса на жесткой рельсовой структуре [1]

Основной путевой структуры является полый струнный рельс, заполненный специ-альным бетоном (рис. 2), пред-ставляя, та-ким образом, разновидность трубобетона [2-3].



Рис. 2. Устройство струнного рельса.

Трубобетон представляет собой ком-плексную конструкцию, состоящую из стальной оболочки и бетонного ядра, работающих совместно. Трубобетон – пример удачного сочетания ценных свойств металла и бетона, обладающий высокой несущей способностью при относительно малых по-перечных сечениях. В основе этого лежит, так называемый, «эффект обоймы» – стальная оболочка для бетона выполняет одно-временно функции как продольного, так и поперечного армирования. В вертикальных конструкциях (колонны, сваи и пр.) «эффект обоймы» проявляется особенно ярко. Бетонный сердечник находится в условиях всестороннего обжатия и выдерживает напряжения, значительно превосходящие призмную прочность. Стальная обойма, в свою очередь, благодаря благоприятному влиянию внутреннего давления бетона, предохранена от потери местной и общей устойчивости.

Задачей исследований являлось подобрать состав бетонной смеси, которая бы обладала:

- низкой вязкостью (не более 40 Пуаз) для перекачивания насосным оборудованием на длину до 1000 м;
- сохранением подвижности не менее бч;
- однородностью (без водоотделения и расслоения).

При этом бетон должен полностью заполнить все пространство рельса и обладать трещиностойкостью, прочностью на сжатие не менее 60 МПа, прочностью на растяжение не менее 4 МПа.

Материалы и методы исследований

С учетом специфики устройства рельса (рис. 2), а также расстояния между струнами (около 2 мм) было введено ограничение по размеру фракций заполнителя. Во избежание усадки бетона при его твердении в состав бетона была введена расширяющаяся добавка РСАМ. Обеспечение высокой подвижности бетонной смеси достигали за счет использования высокоэффективных химических добавок на основе поликарбоксилатов (Sika ViscoCrete 5-600) и латекса (Sika Latex), а также минеральной добавки микрокрем-незема МК.

Полученный номинальный состав реакционно-порошкового бетона представлен в табл. 1.

Для исследования реологических свойств бетонной смеси использовались стандартные методы и методы вискозиметрии. Оценка физико-механических свойств бетона также производилась стандартными методами и по разработанной методике в соответствии со схемой, представленной на рис. 3.

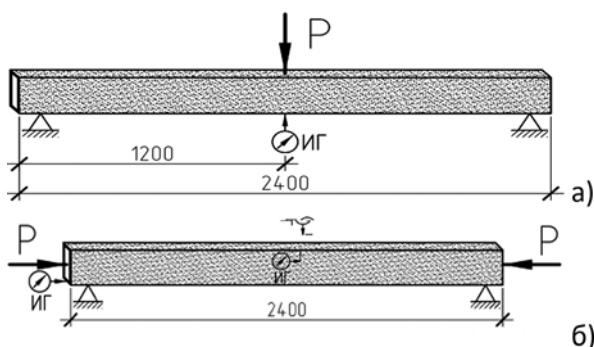


Рис. 3. Схема испытаний трубобетона на прочность а) при растяжении; б) при сжатии

Для определения несущей способности трубобетонных элементов ферм эстакадных транспортных систем (длиной 2400 мм, пря-моугольного сечения 80x60x4 мм), запол-ненных бетоном разработанного состава были проведены испытания, которые срав-нивались с результатами для элементов ферм незаполненных бетоном.

Результаты исследований

Для оценки возможности нагнетания бетонной смеси в пространство струнного рельса был сооруже-н бетоновод прямоугольного сечения 80x60 мм длиной 99 м с толщиной стенки 4 мм (рис. 4).



Рис. 4. Общий вид бетоновода

Эксперимент заключался в определе-нии внутрен-него давления в начале и сере-дине магистрали при подаче автобетонона-сосом высокоподвижных бетонных смесей с плотностью 1900 кг/м³ (ПК 104см). Зная по-тери давления на 100 м участке трубы, рас-четным методом определялось требуемое давление для нагнетания на расстояние 500 м.

Схема установки измерительных при-боров приве-дена на рис. 5.

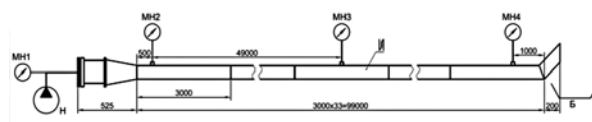


Рис. 5. Схема установки измерительных приборов

Для эффективного управления процес-сом заполне-ния путевой структуры бетон-ной смесью использована система автомати-зации.

Технически система управления выпол-нена в двух-уровневом варианте на базе микроконтроллеров серии I-7000 (фирма ICPDAS, Тайвань). На верхнем уровне используется персональный компьютер (ПК) с модулем I-7520 – преобразователем интер-фейсов RS-232 в RS-485. Нижний уровень представлен 8-канальным модулем ввода информации I-7018, который осуществляет сбор данных с датчиков давления бетонона-соса, кондукто-метрического датчика запол-нения и 4-канальным моду-лем вывода I-7024, который осуществляет управление бетононасосом. Структура системы управ-ления и техно-логического объекта управле-ния представлена на рис. 6.

Данная структура допускает увеличение количества каналов контроля и регулирова-ния, которые позволяют использовать ее как при наращивании функций, так и при интеграции в более разветвленную иерар-хическую

Таблица 1.

Номинальный состав бетона

Класс бетона	В/Ц	Расход компонентов на 1 м ³							Плотность смеси, кг/м ³	Распылв конуса, см
		Цемент ПЦ 1-500, кг	Песок мо-лотый, кг	Вода, л	Химические добавки, кг		Минеральные добавки, кг			
					Sika Visco-Crete 5-600	Sika Latex	РСАМ	МК		
C55/67	0,33	700	760	210	14	70	100	70	1900	105

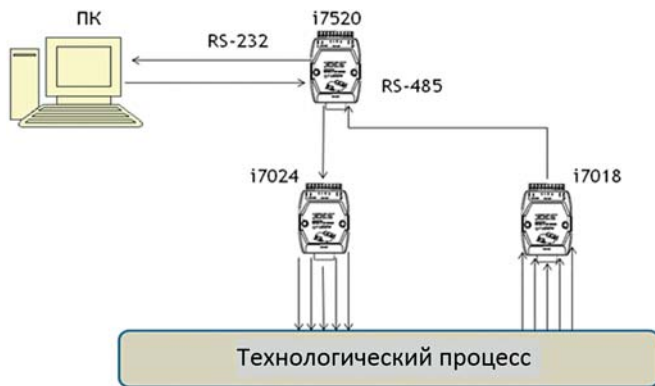


Рис. 6. Структурная схема автоматизации

структуру. Одной из особенностей предложенной системы является возможность ее работы и без верхнего уровня иерархии – персонального компьютера. Изменение уставок основных параметров системы, законов управления, а также контроль значений разных параметров в контрольных точках системы могут регулироваться вручную.

Результаты изменения давления в бетоноводе при прокачке бетонной смеси представлены на рис. 7.

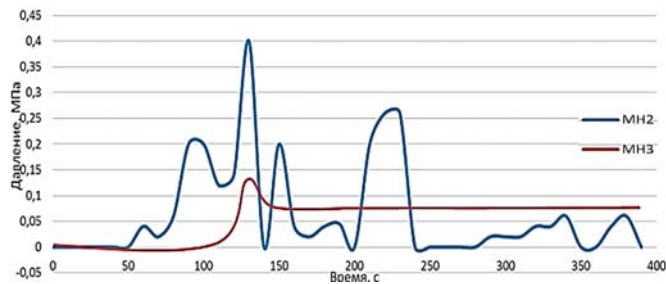


Рис. 7. Изменение давления в бетоноводе во времени

Как видно из рис. 7, через 150 с в центральной части бетоновода устанавливается стабильное давление 0,08 МПа, что свидетельствует о постоянстве потока бетонной смеси.

Затем с помощью программного обеспечения ANSYS [4] было смоделировано изменение скорости течения бетонной смеси (рис. 8).

Результаты оценки прочности бетона стандартными методами приведены в табл. 2.

По прочности на сжатие полученный бетон соответствует классу C55/67 (B55) или марке М700. По прочности на растяжение при изгибе данный бетон соответствует классу Btb 4,0. Прочность сцепления с металлическим основанием составила 0,85 Мпа.

Таким образом, полученные показатели прочности либо соответствуют, либо превышают требуемые значения.

При исследованиях несущей способности определялись перемещения образцов в контрольных точках при помощи прогибометров бПАО, относительные деформации в контрольных точках при помощи индикаторов ИМИГ и электронных датчиков деформаций с ценой деления 0,001 мм (рис. 9). При испытаниях профилей на изгиб приведены деформации нижнего (растянутого) волокна. При испытании на сжатие – деформации среднего сечения элемента.

Результаты статических испытаний фрагментов струнных рельс без бетона и с труботбетоном на изгиб представлены соответственно на рис. 10 и 11.

Результаты статических испытаний фрагментов струнных рельс без бетона и с труботбетоном на сжатие представлены соответственно на рис. 12 и 13. Размеры образцов составляли 80×60×2400 мм, база измерений 200 мм.

Предел прочности труботбетона при изгибе составил 25,84 кН (среднее для двух образцов), что на 11,4% больше предела прочности при изгибе полый трубы. Предел прочности при сжатии труботбетона составил 279,25 кН (среднее для двух образцов), что на 35% больше предела прочности при сжатии полый трубы.

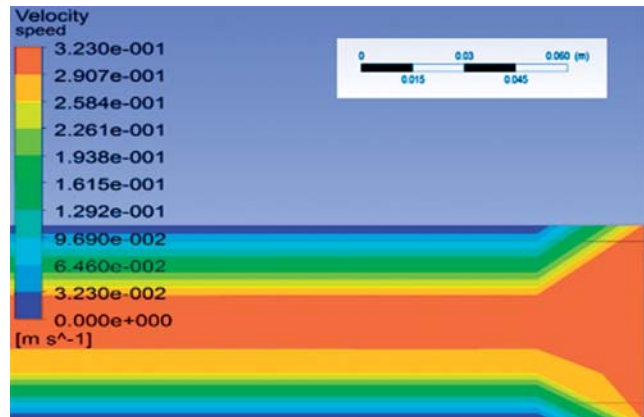


Рис. 8. Расчетная скорость течения бетонной смеси в магистрали длиной 500 м



Рис. 9. Расположение измерительных приборов при испытании труботбетона на сжатие

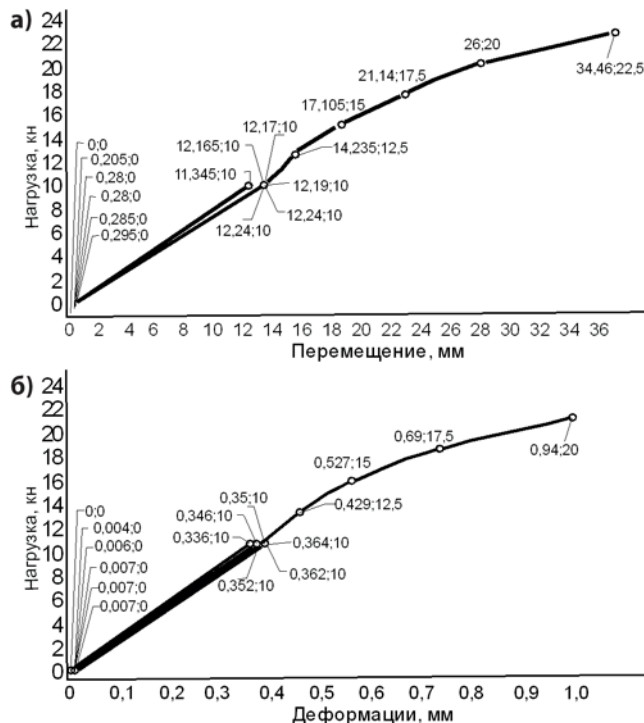


Рис. 10. Зависимость относительной деформации от действия статической нагрузки для образцов без бетона
а) №1 (контрольная нагрузка 10 кН, разрушающая нагрузка 23,06 кН);
б) №2 (контрольная нагрузка 10 кН, разрушающая нагрузка 23,33 кН)

