

**ПРИМЕНЕНИЕ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ**

**SCC APPLICATION FOR CONSTRUCTION AND REPAIR
OF CONCRETE STRUCTURES**

Шмуклер В.С., д.т.н., проф. (ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, г. Харьков), Бугаевский С.А., к.т.н., доц. (ХНАДУ, г. Харьков), Никулин В.Б., гл. инженер (ОДО «Жилстрой-2», г. Харьков), Ямковая Т.И. зав. лаборатории (ОДО «Жилстрой-2», г. Харьков)

Shmukler V., DSc in engineering, professor (O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv), Bugaevsky S., Ph.D., senior lecturer (Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv), Nikulin V., chief-engineer (Zhilstroy-2 Company, Kharkiv), Yamkova T., laboratory chief (Zhilstroy-2 Company, Kharkiv)

Приведены результаты экспериментальных исследований по подбору составов самоуплотняющегося бетона (СУБ). Проведено бетонирование горизонтального и вертикального элемента облегченных конструкций, а также ремонт колонн с применением СУБ.

The main modern methods in civil engineering are aimed at diminution of the empty weight and reduction in material consumption of the reinforced concrete floors. Application of self-compacting concrete (SCC) for designing of the lightweight construction with liners made of polystyrene foam can significantly accelerate the process of concreting by laying concrete mix in a single step. The work contains selected compositions of SCC in additives-superplasticizers with usage of local mineral materials. The research has been conducted to measure the effect of the components on the basic parameters of the SCC. In the course of the research concreting the horizontal and vertical elements of lightweight construction was carried out, as well as repairs of columns by using SCC.

Ключевые слова: добавка-суперпластификатор, бетон, самоуплотнение.

Keywords: additives-superplasticizer, concrete, self-compacting.

Вступление. В мировой строительной практике находит широкое распространение самоуплотняющийся бетон (СУБ) при строительстве объектов из железобетона [1, 2]. Основные современные методы возведения зданий и сооружений направлены на уменьшение собственного веса и снижение материалоемкости устройства железобетонных перекрытий за счет применения пластмассовых элементов опалубки купольной формы (перекрытия кессонного типа) или легких неизвлекаемых вкладышей-пустотообразователей различной формы (облегченные перекрытия) [3].

Анализ последних исследований. Для устройства кессонного перекрытия используют специальный комплект опалубки, состоящий из телескопических стоек, металлической обрешетки, располагаемой с учетом размеров пластмассовых кессонообразователей. По обрешетке раскладывают кессонообразователи – инвентарные формы, имеющие незначительную адгезию к бетону и легко удаляемые после набора бетоном распалубочной прочности. Кессонообразователи имеют небольшой вес и раскладываются и снимаются вручную.

Последовательность устройства кессонных перекрытий практически не отличается от устройства сплошных перекрытий, за исключением особенности укладки пластмассовой опалубки. Перекрытия кессонного типа, как правило, ориентированы на контурное опирание, не обладают ровной потолочной поверхностью и предполагают устройство подвесного потолка, что введет к дополнительному расходу материалов и трудозатрат. Такого типа перекрытия не применяют при строительстве жилых зданий.

Облегченные перекрытия с легкими неизвлекаемыми вкладышами-пустотообразователями нашли широкое применение в строительстве. Применяют вкладыши, имеющие форму сферы, блока или колпака, из вторичной пластмассы (технологии «Airdeck», «Beeplate», «BubbieDeck», «Cobiax», «DONUT TYPE», «U-BOOT» и др.) или из пенополистирола [4-8].

В Украине основной технологией устройства облегченных железобетонных перекрытий с вкладышами из пенополистирола является бетонирование в две стадии [5-7]. После раскладки арматуры нижнего слоя и ребер перекрытия выполняют первый цикл бетонирования (нижний слой до уровня установки вкладышей), а затем устанавливают вкладыши и арматуру верхнего слоя – второй цикл бетонирования (ребра и верхний слой).

Для обеспечения возможности бетонирования всей конструкции сразу и проверки формирования нижней полки под вкладышем предложено усовершенствование технологии устройства перекрытия, заключающееся в создании дополнительных вертикальных отверстий во вкладыше [8]. Укладка бетонной смеси осуществляется до верхнего уровня вкладышей с уплотнением при помощи вибраторов. Одновременно контролируют укладку бетонного слоя под вкладышем через вертикальные отверстия и через них дополнительно уплотняют бетонную смесь. После этого осуществляется бетонирование верхнего слоя плиты перекрытия.

Применение СУБ для устройства облегченных конструкций с вкладышами из пенополистирола позволяет значительно ускорить процесс бетонирования путем укладки бетонной смеси в один этап.

Метод возведения монолитных конструкций будет иметь ряд преимуществ:

- отсутствие перерыва в бетонировании и ожидание набора прочности бетоном нижней полки перекрытия, а также вынужденного технологического разрыва, необходимого для установки вкладышей и верхней арматурной сетки перекрытия;
- отказ от уплотнения бетонной смеси, т.к. она обладает высокой подвижностью, что обеспечивает ее растекание и уплотнение под действием собственного веса;
- заполнение бетонной смесью всего объема пространства под захороняемым вкладышем;
- снижение затрат времени на формирование верхней поверхности перекрытия в связи со способностью СУБ к самовыравниванию;
- отсутствие технологического шва между слоями бетона, уложенного в две стадии.

Постановка цели и задачи исследования. Целью исследования является подбор составов СУБ на добавках-суперпластификаторах

разных производителей, а также его применение при строительстве и ремонте железобетонных конструкций.

Задачей исследований является устройство горизонтального и вертикального элемента облегченных конструкций, а также ремонт колонн с применением СУБ.

Методика исследования. Приборы для определения основных показателей самоуплотняющейся бетонной смеси и основные технологические операции по устройству облегченных конструкций с вкладышами из пенополистирола.

Результаты исследований. Широкое применение самоуплотняющегося бетона для устройства облегченных конструкций является одной из технологий возведения зданий и сооружений по системе «Монофант» [9]. Применение этой системы обеспечивает значительное уменьшение собственного веса конструкций (фундаментов, колонн, элементов жесткости, дисков перекрытий и покрытий), рациональную топологию ребер внутри диска перекрытия для выравнивания усилий в плите перекрытия и создание сложной внутренней конфигурации колонн и элементов жесткости.

Исследования по подбору состава СУБ проводились в лаборатории, функционирующей на базе участка железобетонных изделий ОДО Жилстрой-2 в г. Харькове. Для подбора были использованы следующие материалы:

- портландцемент ПЦ II/A-III-400P;
- минеральная добавка (МД) шлак гранулированный молотый высшего сорта (1-40 микрон, удельная поверхность 4-5 тыс. м²/г) и второго сорта (>80 микрон, удельная поверхность 2,5-3,5 тыс. м²/г);
- мелкий заполнитель – песок с $M_{кр}=1,6$ и $0,9$;
- крупный заполнитель – щебень фр. 5-10 мм и 5-20 мм;
- добавки-суперпластификаторы Stacheplast 156 (Stachema), Muraplast FK 59 (MC-Bauchemie) и MasterGlenium 116 (BASF).

Расход добавки-суперпластификатора принимался в процентах от массы цемента (для составов без МД) или от массы цемента с минеральной добавкой (табл. 1-3).

Применение в составе бетонной смеси минеральной добавки второго сорта привело к резкому снижению прочности на сжатие (табл. 1). Высокое содержание минеральной добавки (47 % по отношению к цементу) привело к повышению вязкости смеси и снижению величины расплыва конуса (не более 50-55 см), а время

достижения диаметра расплыва 500 мм составило – от 6 до 15 сек. Наиболее оптимальным оказалось соотношение минеральной добавки 20 % от массы цемента, кроме этого исследовалось влияние размера фракции щебня на получение СУБ (табл. 2).

Таблица 1

Составы (на 1 м³ бетона) и прочность бетона

Компоненты	Состав №1.1	Состав №1.2	Состав №1.3	Состав №1.4	Состав №1.5	Состав №1.6
Цемент	440	300	300	440	300	300
МД высший сорт	-	140	-	-	140	-
МД второй сорт	-	-	140	-	-	140
Песок $M_{кр}=1,6$	670	850	850	670	850	850
Щебень фр. 5-20	1140	850	850	1140	850	850
Добавка	1 % SP156	1 % SP156	1 % SP156	1 % MG116	1 % MG116	1 % MG116
Вода	166	214	221	175	200	226
V/(Ц+МД)	0,38	0,49	0,50	0,40	0,45	0,51
ОК, см	23	-	-	23,5	-	-
Вязкость, T_{500} , сек	-	15	10	-	6	8
$f_{cm,cube}$, МПа, (5 сут)	40,2	30,0	10,5	34,2	33,6	10,8
$f_{cm,cube}$, МПа, (28 сут)	59,3	48,5	24,4	51,7	51,0	25,0

Применение в качестве мелкого заполнителя Безлюдовского песка с модулем крупности 0,9 привело к повышению расхода воды до $V/(Ц+МД)=0,63$, а также к сильному расслаиванию бетонной смеси с явными признаками осаждения растворной части.

Увеличение содержания цемент + минеральная добавка с 440 кг/м³ до 480 кг/м³ обеспечит требования к СУБ по способности бетонной смеси преодолевать препятствия (L-образный ящик с тремя арматурными стержнями).

В ходе исследования стала очевидной невозможность приготовления состава СУБ с применением крупного заполнителя в виде щебня фракции 5-20 мм, т.к. соотношение фракций 5-10 и 10-20 мм было нестабильно при поставке щебня из карьеров в разных партиях. В некоторых партиях щебня фракция 5-10 мм составляла не более 20 % от общей массы, что приводило к неравномерному распределению частиц по размеру и значительно снижало

показатели расплыва, текучести и проходимости СУБ через арматурные стержни.

На основании лабораторных испытаний были подобраны следующие составы СУБ и получены основные показатели самоуплотняющихся бетонных смесей (табл. 3).

Для бетонирования горизонтального (размер в плане 145 см×145 см и высота 34 см) и вертикального (в плане 145 см×34 см и высотой 145 см) элемента была изготовлена деревянная опалубка. Процесс подготовки к бетонированию заключался в следующем: выставление и проверка геометрии опалубки, смазка опалубки, установка арматурного каркаса вместе с предварительно склеенным вкладышем и проверка основных геометрических размеров (рис. 1, а-в).

Защитный слой между опалубкой и арматурным каркасом обеспечен за счет пластмассовых фиксаторов.

Таблица 2

Составы (на 1 м³ бетона) и прочность бетона

Компоненты	Состав №2.1	Состав №2.2	Состав №2.3	Состав №2.4	Состав №2.5	Состав №2.6	Состав №2.7
Цемент	440	366	366	390	366	366	390
МД высший сорт	-	74	74	78	74	74	78
П Мкр=1,6	670	950	950	840	950	950	840
Щ фр. 5-10	-	-	-	-	950	950	840
Щ фр. 5-20	1140	950	950	840	-	-	-
Добавка	1 % SP156	1 % SP156	1,5 % SP156	1 % SP156	1 % SP156	1,5 % SP156	1 % SP156
Вода	180	223	203	212	230	219	200
V/(Щ+МД)	0,41	0,51	0,47	0,42	0,52	0,50	0,43
Вязкость, T ₅₀₀ , сек	6	6	15	6	4	3	2
РК, см	58	58	56	58	63	68	67,5
f _{cm,cube} , МПа, (5 сут)	25,6	26,0	28,4	33,7	23,6	24,1	33,0
f _{cm,cube} , МПа, (28 сут)	39,7	42,2	47,5	49,8	38,9	41,7	45,6

Составы (на 1 м³ бетона) и показатели СУБ

Компоненты	Состав №1	Состав №2	Состав №3
Цемент	390	400	400
МД высший сорт	78	80	80
Щебень фр. 5-10	840	850	850
Песок Мкр=1,6	840	900	900
Вода	200	220	225
Добавка	1 % SP156	1 % FK59	0,7 % MG116
V/(Ц+МД)	0,43	0,46	0,47
Удобоукладываемость, РК, см	67,5 (SF2)	64,0 (SF2)	69,0 (SF2)
Удобоукладываемость (с блокировочным кольцом), РК _{кольцо} , см	67,5	63,0	67,0
Вязкость, T ₅₀₀ , сек	2,0 (VS2)	4,8 (VS2)	2,0 (VS2)
Вязкость, t _{воронки} , сек	4,9 (VF1)	8,0 (VF1)	6,2 (VF1)
Способность преодолевать препятствие (с тремя арматурными стержнями)	0,91 (PA2)	0,93 (PA2)	0,80 (PA2)
Устойчивость к расслаиванию, %	5 (SR2)	8 (SR2)	12 (SR2)
f _{cm,cube} , МПа, (3 сутки)	33,0	28,5	18,8
f _{cm,cube} , МПа, (28 сутки)	45,6 (C30/35)	47,1 (C30/35)	35,9 (C20/25)

При укладке первого слоя самоуплотняющегося бетона его толщина составила величину, при которой низ вкладыша был погружен в бетонную смесь на 1,0-1,5 см. Технологический перерыв между укладкой первого и второго слоя составил 45 мин для обеспечения удержания арматурного каркаса с вкладышем от всплытия. После изготовления железобетонных элементов, они были разрезаны на две части для контроля заполнения самоуплотняющейся бетонной смесью пространства под вкладышем (рис. 1, г-е).

Для ремонта колонн в торговом центре по ул. Полтавский Шлях возле железнодорожного вокзала в г. Харькове был применен самоуплотняющийся бетон, как наиболее рациональный метод бетонирования при стесненных условиях (рис. 2). Колонны располагаются в помещении, где функционирует кафе, поэтому нет возможности проводить полноценные ремонтные работы.



Рис. 1. Бетонирование облегченных конструкций с применением СУБ в одну стадию в два слоя: а) – изготовление вкладыша; б) – сборка арматурного каркаса с вкладышем для вертикального элемента; в) – сборка арматурного каркаса для горизонтального элемента; г) – распалубка вертикального элемента; д) – разрезка вертикального элемента; е) – разрезка горизонтального элемента

На основании заключения, выданного специалистами кафедры строительных конструкций Харьковского национального университета городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, было рекомендовано выполнение поэтапного бетонирования колонн с применением несъемной опалубки в виде обкладки колонн кирпичом с последующей укладкой бетонной смеси для восстановления целостности их формы. Для получения самоуплотняющегося бетона использована добавка-суперпластификатор Muraplast FK 59 и минеральная добавка – шлак гранулированный молотый высшего сорта производства «Innotek Bud», г. Харьков. Распływ конуса самоуплотняющейся бетонной смеси составил 70 см (рис. 2, а). В связи с небольшими объемами бетонной смеси и высокой подвижностью, приготовление осуществлялось путем перемешивания в емкости компонентов с помощью промышленного миксера-дрели (рис. 2, б).



Рис. 2. Ремонт колонны с применением СУБ: а) – определение распłyва конуса для СУБ; б) – приготовление самоуплотняющейся бетонной смеси; в) – ремонтируемая колонна с несъемной опалубкой в виде стенки из кирпича

Выводы. Подобраны составы самоуплотняющихся бетонных смесей на добавках-суперпластификаторах разных производителей

с использованием местных минеральных материалов и исследовано влияние компонентов на основные параметры СУБ.

Проведено бетонирование горизонтального и вертикального элемента облегченных конструкций, а также ремонт колонн с применением самоуплотняющихся бетонов, позволяющие расширить возможности применения монолитного бетонирования при строительстве и ремонте зданий и сооружений по системе «Монофант».

1. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specification, Production and Use, 2005. – 68 p.

2. СТО СРО-С 60542960 00050-2015. Основные требования при производстве работ с самоуплотняющимися бетонными смесями (СУБС). – М.: Росатом, 2015. – 89 с.

3. Сагадеев Р.А. Современные методы возведения монолитных и сборно-монолитных перекрытий. Учебное пособие. – М.: ГОУ ДПО ГАСИС, 2008. – 35 с.

4. Albrecht C. Experimental and theoretical analyses of the load-bearing behaviour of slim biaxial hollow core slabs with flattened void formers // Proceedings of The 9th fib International PhD Symposium in Civil Engineering. Karlsruhe Institute of Technology (KIT), 22-25 July 2012, Karlsruhe, Germany / Edited by Harald S. Müller, Michael Haist, Fernando Acosta. – Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2012. – pp. 85-90.

5. Евстафьев В.И. Облегченные многослойные перекрытия для архитектурно-строительных систем с широким шагом несущих конструкций.: дис. ... кандидата техн. наук: 05.23.01 / Вадим Иванович Евстафьев. – Киев, 2004. – 186 с.

6. Мельник І.В. Монолітні плоскі залізобетонні перекриття з пінополістірольними вставками / І.В. Мельник, В.М. Сорохтей, О.О. Кузик <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/13057/1/15>

7. Помазан М.Д. Совершенствование технологии устройства облегченных железобетонных перекрытий.: дис. ... кандидата техн. наук: 05.23.08 / Максим Дмитриевич Помазан. – Харьков, 2013. – 187 с.

8. Таран В.В. Формирование и выбор конструктивно-технологических решений по устройству монолитных облегченных перекрытий в каркасных зданиях.: дис. ... кандидата техн. наук: 05.23.08 / Валентина Владимировна Таран. – Макеевка, 2012. – 170 с.

9. Пат. 89464 Україна, МПК E04B 1/18. Каркасна будівля «Монофант» / Шмуклер В.С., Бабаєв В.М., Бугаєвський С.О., Бережна К.В., Карякін І.А., Кондращенко В.І., Сеїрські І.М.; заявник і патентовласник Шмуклер В.С. – №u201311919; заявл. 10.10.2013 ; публ. 25.04.2014, Бюл. №8.