



ПІДБІР СКЛАДУ БЕТОНУ, ЩО САМОУЩІЛЬНЮЄТЬСЯ, БЕЗ МІНЕРАЛЬНИХ ДОМШОК ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ТРУБОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ

**І. М. Гаранжа¹, С. В. Лахтарина², М. М. Зайченко,
А. В. Танасогло³, С. М. Бакаєв, С. В. Гаранжа**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.
E-mail: ¹garigo@mail.ru, ²s_e_r_g_e_y_sv@mail.ru, ³a.v.tan@mail.ru*

Отримана 23 вересня 2015; прийнята 27 листопада 2015.

Анотація. У статті коротко розглянута історія виникнення бетону, що самоущільнюється (СУБ), і основних напрямків його дослідження. Наведені особливості складу та структури СУБ у вигляді узагальненої рецептури, принципових відмінностей його компонентів за географічними ознаками, позитивними властивостями та недоліками з урахуванням їхнього впливу на якість отриманої суміші. Обумовлена перспективна сфера застосування СУБ спільно з металевими багатограними трубами у складі композитних несучих конструкцій для міських умов. Описано процес механічних випробувань зразків бетону кубоподібної форми на центровий стиск, виконаних в два етапи, з метою підібрати склад СУБ низьких класів (марок) без використання мінеральних в'язучих і з необхідним ступенем рухливості бетонної суміші. У результаті отримані склади СУБ класів за міцністю В20...В40. Визначена вартість отриманих складів, котра в порівнянні з вартістю класичного важкого бетону виявилася нижчою.

Ключові слова: бетон, що самоущільнюється, дозування компонентів, рухливість суміші, дисперсний наповнювач, суперпластифікатор, механічні випробування.

ПОДБОР СОСТАВА САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА БЕЗ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТРУБОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

**И. М. Гаранжа¹, С. В. Лахтарина², Н. М. Зайченко,
А. В. Танасогло³, С. Н. Бакаев, С. В. Гаранжа**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
2, ул. Державина, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.
E-mail: ¹garigo@mail.ru, ²s_e_r_g_e_y_sv@mail.ru, ³a.v.tan@mail.ru*

Получена 23 сентября 2015; принята 27 ноября 2015.

Аннотация. В статье кратко рассмотрена история возникновения самоуплотняющегося бетона (СУБ) и основных направлений его исследования. Приведены особенности состава и структуры СУБ в виде обобщенной рецептуры, принципиальных отличий его компонентов по географическим признакам, положительным свойствам и недостаткам, с учетом их влияния на качество получаемой смеси. Оговорена перспективная область применения СУБ совместно с металлическими многогранными трубами в составе композитных несущих конструкций для городских условий. Описывается процесс механических испытаний образцов бетона кубовидной формы на центральное сжатие, выполненных в два этапа, с целью подобрать состав СУБ низких классов (марок) без использования минеральных вяжущих и с требуемой степенью подвижности бетонной смеси. В результате получены составы СУБ классом по прочности В20...В40. Определена стоимость полученных составов, которая в сравнении со стоимостью классического тяжелого бетона оказалась ниже.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, дозировка компонентов, подвижность смеси, дисперсный наполнитель, суперпластификатор, механические испытания.

SELECTION OF THE OF SELF-COMPACTING CONCRETE COMPOSITION WITHOUT MINERAL ADDITIVES FOR USE IN PIPE-CONCRETE STRUCTURES

Igor Garanzha¹, Serhii Lakhtaryna², Mykola Zaichenko,
Anton Tanasoglo³, Sergii Bakayev, Sofia Garanzha

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiyivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

E-mail: ¹ garigo@mail.ru, ² s_e_r_g_e_y_sv@mail.ru, ³ a.v.tan@mail.ru

Received 23 September 2015; accepted 27 November 2015.

Abstract. In the paper the history of the SCC emergence and the main directions of its research has been considered. It has been presented the main features of the composition and the structure of SCC as a generalized recipe, fundamental differences between its components by geographic attributes, positive qualities and shortcomings taking into account their impact on the quality of the resulting mixture. The prospective application area of SCC jointly with polyhedral metal pipes as part of the composite bearing structures for the urban conditions has been stipulated. The process of mechanical testing of concrete cube-shaped samples under axial compression, performed in two steps, with the purpose to select the composition for the with the purpose to select the composition for the SCC of low classes (marks) of the SCC, without using of mineral binders and with the required degree of motion of the concrete mixture, is described. As a result, the compositions of SCC with strength class B20...B40, has been found out. The cost of the resulting compositions has been determined, which in comparison with the cost of classic heavy concrete was lower.

Keywords: self-compacting concrete, dosages of components, motion of mixture, dispersed filler, super plasticizer, mechanical tests.

Введение

Самоуплотняющийся бетон – это многокомпонентный композиционный силикатный материал, который в свежеприготовленном состоянии обладает таким уровнем текучести и подвижности, что бетонная смесь способна заполнять опалубку в процессе укладки только за счет собственного веса и достигать требуемой степени уплотнения без применения какого-либо внешнего уплотняющего воздействия. Самоуплотняющийся бетон может содержать остаточный объём пор точно так же, как и классический вибрированный бетон [5].

В немецком языке самоуплотняющийся бетон получил сокращённое название SVB (selbstverdichtender beton), в английском – SCC (self compacting concrete), во французском – ВАР (beton autoplacant) [5–9, 24, 25]. Не исключено, что с распространением самоуплотняющегося бетона у нас он также получит в русском языке сокращённое обозначение СУБ.

Особо высокопрочные бетоны, модифицированные добавками-суперпластификаторами, начали применять в конце 60-х – начале 70-х годов

прошлого века. В частности, в 1970 году такой бетон использовался норвежскими и британскими специалистами для строительства нефтяных платформ в Северном море. Опыт применения подобного материала показал преимущества введения суперпластификаторов в бетонную смесь, однако был замечен и ряд ограничений в работе с ним [10–13]. На сегодняшний день СУБ используется в качестве конструкционного материала для достаточно широкого спектра строительных конструкций: каркасы многоэтажных промышленных и гражданских зданий, мостостроение, густоармированные монолитные ж/б конструкции (плиты покрытия, стены, фундаменты) и т. д.

В данной статье рассмотрен тип самоуплотняющегося бетона, создание которого направлено на перспективное применение совместно с металлическими конструкциями в составе комплексных трубобетонных конструкций (на основе многогранных, круглых и квадратных труб). Вышеупомянутые композитные конструкции, с использованием СУБ, в мировой практике строительства на сегодняшний день не применялись.

Краткая история возникновения исследования самоуплотняющегося бетона

История самоуплотняющегося бетона началась в Японии в 1990 году, когда профессором Хайимой Окамурой было создано и внедрено в практику новое поколение добавок к бетону, а именно высокоэффективные добавки для улучшения текучести на базе полиакрилата и поликарбоксилата [12]. Ему удалось создать бетон, имеющий высокую пластичность и низкое содержание воды. Кроме Окамуры, в создании и развитии самоуплотняющегося бетона принимали участие профессора К. Маекава и К. Озава.

Благодаря уникальным свойствам и преимуществам этого бетона, он быстро распространился в странах Западной Европы. Такой бетон нашел свое применение на предприятиях сборного железобетона. Затем самоуплотняющийся бетон стал активно использоваться в качестве так называемого «транспортного бетона», т. е. бетона, который доставляется и укладывается непосредственно на строительной площадке.

Дальнейшее активное развитие и изучение свойств самоуплотняющегося бетона происходило в Германии. Так в Институте строительных исследований в городе Аахен (Германия) в 2000 и 2001 годах под руководством профессора Вольфганга Брамесхубера по заказу фирмы «Dyckerhoff Beton GmbH» после тщательного изучения его свойств были созданы первые предпосылки для официального допуска и распространения этого материала по всей Европе. Исследования, проведенные в Аахене, показали, что прочность на сжатие самоуплотняющегося бетона, как правило, выше, чем у обычного «вибрируемого» бетона, а прочность на раскалывание, статический модуль упругости, усадка и ползучесть самоуплотняющегося бетона были такими же. Кроме того, этот материал обладал высоким показателем водонепроницаемости и, таким образом, был официально допущен и рекомендован для использования при возведении водонепроницаемых сооружений. Материал получил название «Dyckerhoff Liquidur» и стал активно распространяться по строительным площадкам Европы вследствие своих уникальных свойств [5].

Последним шагом по расширению распространения самоуплотняющегося бетона в Западной Европе было издание в Берлине «Немецким комитетом по железобетону» в ноябре 2003 года нормативного документа «DAfStb-Richtlinie Sel-

bsverdichtender Beton (SVB-Richtlinie)». В этом нормативном документе подробно изложены термины и связи с другими европейскими нормативными документами, а также методы диагностики самоуплотняющегося бетона. Таким образом, после выхода этого нормативного документа самоуплотняющийся бетон официально допущен и разрешен к использованию в Европе без необходимости каких-либо дополнительных разрешений, согласований и допусков.

В настоящее время изучение самоуплотняющегося бетона и методов его диагностики активно продолжается. Такие исследования в последние годы проводятся, к примеру, в Техническом Университете г. Берлина на строительном факультете под руководством профессоров Б. Хиллемайера и Ж. Бухенау. Основная часть этих материалов исследований (вместе с исследованиями других немецких учёных) опубликована в этом году в немецком так называемом «Бетонном календаре» в разделе «Специальные бетоны» [24].

В последнее время в европейских специализированных журналах появилось большое количество публикаций о самоуплотняющемся бетоне, что свидетельствует о большом интересе к его изучению со стороны учёных практически всех европейских стран. В том числе весомый вклад в изучение и практическое применение СУБа внесли ученые Донбасской национальной академии строительства и архитектуры под руководством д. т. н., профессора Н. М. Зайченко [2, 3].

Состав и структура самоуплотняющегося бетона

Состав компонентов смеси для приготовления самоуплотняющегося бетона осуществляется, как правило, по японскому методу, разработанному профессором Окамурой. Концепция этой рецептуры базируется на повышении доли мелких пылевидных частиц. Рецептуры самоуплотняющегося бетона базируются на следующих граничных условиях [12]:

- 1) насыпной объём заполнителя крупной фракции должен быть не более 50 % объёма бетона;
- 2) объёмная часть песка в растворе должен составлять 40 %.

В наиболее простой (общей) форме стандартная рецептура самоуплотняющегося бетона (на 1 м³ смеси) для бетона класса В25 приведена в таблице 1.

Проанализировав данные из таблицы 1, можно сделать вывод о том, что они являются очень обобщенными, так как по каждому из компонентов не учтено множество важных факторов, которые, безусловно, повлияют на качество и подвижность бетонной смеси. Необходимо отметить, что на сегодняшний день состав самоуплотняющегося бетона в различных странах резко отличаются. Это, в первую очередь, связано с различием свойств составляющих СУБ (песок, щебень и дисперсный наполнитель) в зависимости от географического (климатического) района, в котором изготавливается и используется бетон, а также вида суперпластификатора. Кроме того, на состав СУБ оказывает существенное влияние количество дисперсного наполнителя и суперпластификатора, введенного в состав смеси. Еще одним значимым фактором при изготовлении СУБ является водоцементное отношение (В/Ц), которое влияет на усадку (как аутогенную, так и влажностную) [5, 13, 15, 25].

Для визуального прослеживания различия в дозировках компонентов СУБ, (учитывая особенности региона его изготовления) в таблице 2 приводятся общие рецептуры для самоуплотняющегося бетона классов В35...В50 с одинаковым параметром подвижности, разработанным д. т. н., проф. Н. М. Зайченко (ДонНАСА) для Донбасского региона.

Сравнивая аналогичные данные в таблицах 1 и 2, мы видим, что только вода и цемент в среднем имеют схожие количественные значения в рецептуре СУБ. А вот дисперсный наполнитель, песок и щебень существенно отличаются в дозировках, что подтверждает наличие принципиальных количественных отличий в рецептурах (главным образом по региональным признакам), а также говорит о невозможности применения конкретных составов для изготовления СУБ повсеместно.

Особенности СУБ как составляющей несущей композитной конструкции

В данной статье рассматривается необходимость разработки СУБ для использования в строительных конструкциях на базе металлических многогранных гнутых труб. В первую очередь конструкции ориентированы на применение в городских условиях, т. е. там, где актуальны вопросы эстетики сооружений и землеотвода под них. Это

могут быть опоры ВЛ низких классов напряжения (распределительные сети до 110 кВ), опоры мобильной связи, осветительные опоры, опоры контактной сети горэлектротранспорта, башни ветроэнергетических установок и т. д. Предложенные в качестве базиса для трубобетонных конструкций многогранники имеют одну конструктивно-технологическую особенность – имеют форму усеченного конуса, что говорит о практической невозможности их бетонирования в заводских условиях. Поэтому из соображений получения возможности «изготовления» конструкций непосредственно на строительной площадке в качестве заполнителя для многогранных труб принят самоуплотняющийся бетон, учитывая достаточно широкий спектр его положительных особенностей как конструкционного материала [15, 17, 20, 22]:

- качественное заполнение внутренней полости многогранных труб;
- отсутствие необходимости в вибрировании при монтаже;
- обладает повышенной, долговечностью и плотностью;
- минимизация наличия пустот и дефектов;
- увеличенное время транспортирования бетонной смеси;
- снижение сроков строительства;
- соизмерим по стоимости с классическим бетоном (а в ряде случаев и дешевле!).

Но помимо положительных свойств, безусловно, необходимо рассмотреть и недостатки СУБ с последующим учетом их влияния на качество получаемой смеси, а также работу композитной конструкции в целом [17–22]:

- возможность монтажа в зимний период только с применением специальных добавок, которые существенно ускоряют сроки схватывания, однако повышается стоимость материала;
- возможен эффект «седиментации», т. е. оседания частиц крупного заполнителя под действием сил гравитации), особенно при использовании СУБ в вертикально стоящих трубах, которые в составе многогранных композитных конструкций выполняют функции несъемной опалубки.

В данном случае в состав бетона необходимо дополнительно вводить ультрадисперсные минеральные и химические добавки, повышающие сцепление цементного камня с крупным заполни-

Таблица 1. Общая дозировка компонентов СУБ класса В40 на 1 м³ (Окамура)

Компонент	Размер	Количество
Цемент (М500)	кг	350
Зольная пыль (Зола–Унос), молотый известняк или доменный шлак	кг	200
Вода	кг	170...180
Водоцементное отношение (В/Ц)	кг	0,49...0,51
Песок (фракции 0...2 мм)	кг	650
Мелкий щебень (фракции 5...20 мм)	кг	950
Суперпластификатор	кг	2...4

Таблица 2. Общая дозировка компонентов на 1 м³ СУБ класса В35...В50 для условий Донбасса

Класс бетона	Цемент, кг	Минеральная добавка, кг	Вода *, л	Песок, кг	Щебень (фр. 5...20 мм), кг	Супер пластификатор, кг **	$\frac{B}{C}$ ***	D, мм
В35	270	157	180	961	743	2...4	0,67	≈500...650
В40	320	154	175	945	731	2...4	0,55	
В45	360	148	172	928	718	2...4	0,48	
В50	420	142	170	912	706	2...4	0,41	

* – расход воды следует корректировать в соответствии с требуемой текучестью бетонной смеси;

** – расход суперпластификатора принимается в зависимости от его типа в соответствии с указания и производителя;

*** – может меняться в зависимости принятого количества воды и пластификатора.

телем [9], что позволит исключить эффект седиментации. На сегодняшний день наиболее популярным производителем добавок такого рода является немецкая фирма «BASF Construction Chemicals». Модификаторы вязкости имеют широкий ряд достоинств, но в качестве основных, помимо вышеупомянутого повышения стойкости к расслоению, следует выделить следующие:

- не влияет на удобоукладываемость бетонной смеси;
- обеспечивает высокую однородность бетона;
- продлевает сохранность подвижности бетонной смеси;

- позволяет использовать материал при бетонировании густоармированных конструкций сложной геометрической формы без вибрирования;

- снижение капиллярной пористости бетона с параллельным повышением его долговечности.

Экспериментальный подбор состава СУБ без минеральных добавок

Анализ результатов предварительных аналитических расчетов многогранных трубобетонов на изгиб и центральное сжатие, выполненных по

отечественным [1, 4] и зарубежным методикам с учетом реальных эксплуатационных нагрузок, указали на отсутствие необходимости использования в рассматриваемых композитных конструкциях высокопрочных бетонов. Т. е. класс прочности на сжатие не должен превышать В40, так как в противном случае конструкция будет иметь запас прочности, значительно превышающий требуемую несущую способность и влекущий за собой удорожание материала.

Экспериментальный подбор состава СУБ, рассмотренный в данной статье, проведен на базе лаборатории испытания строительных материалов кафедры «Civil Engineering» высшей политехнической школы университета Аликанте (Испания).

Предварительные тестовые испытания образцов самоуплотняющегося бетона с добавкой микрокремнезема и золы также показали слишком высокую прочность исследуемого материала и невозможность результирующего выхода на СУБ низких классов (ниже В40). Опираясь на полученные результаты, было принято решение отказаться от использования ультрадисперсных заполнителей в составе СУБ. Обобщенные причины отказа приведены ниже:

- добавление микрокремнезема в состав бетона увеличивает его прочность и стойкость к расслоению, но в то же время существенно снижает его текучесть и повышает стоимость;
- зола, также как и микрокремнезём, значительно повышает прочность бетона и, кроме того, полученная на различных тепловых станциях, она имеет разные характеристики и свойства, что делает невозможным нахождение единого состава бетона с применением данного материала.

В связи с чем целью работы является экспериментальный подбор состава СУБ низких классов с требуемыми параметрами подвижности (текучести). Под понятием подвижности бетонной смеси понимается диаметр расплыва бетонной смеси без встряхивания и уплотнения, полученного методом «конуса».

Для достижения поставленной цели решена задача, направленная на механические испытания образцов СУБ центральным сжатием с различной дозировкой компонентов.

Механические испытания проведены в 2 этапа.

На первом этапе составы СУБ варьируются количеством компонентов и бетонированием экспериментальных образцов кубов с гранью 150 мм. В состав бетона приняты следующие типы компонентов, полученные из источников, расположенных на территории провинции Аликанте (Испания):

- портландцемент ПЦ II 32,5 В-М и ПЦ 42,5 В-М (цементный завод г. Аликанте, Испания);
- крупный заполнитель – щебень гранитный (фракция 5...10 мм);
- мелкий заполнитель – песок кварцевый промытый ($M_k 1,8$);
- вода;
- поликарбоксилатный суперпластификатор Viscocrete 5720 (производство Испании).

В процессе изготовления бетонной смеси контролировалась его подвижность (текучесть) по стандартной методике (рис. 1б), при этом минимальный диаметр расплыва бетонной смеси D принимался не менее 500 мм, который указывает на достаточную подвижность СУБ для рассматриваемых конструкций (рис. 1а). В конечном итоге для полученных составов СУБ параметр D находится в пределах 540...620 мм.

Помимо подвижности на данном этапе выполнялся контроль эффекта седиментации путем визуального осмотра расплывшейся смеси на предмет равномерного распределения крупного заполнителя в объеме цементного теста, что даст возможность судить о степени расслоения материала или полного его отсутствия (рис. 1а). В случае обнаружения негативного эффекта водоотделения, и как следствие, расслоения бетонной смеси необходимо вводить в его состав специальные химические добавки (модификаторы вязкости), направленные на повышение стойкости материала к расслоению [2, 25].

На втором этапе проведены испытания предела прочности при сжатии СУБ, образцов кубов размерами 150×150×150 мм на механическом прессе марки ST-150m (рис. 2).

Образцы бетона испытывали согласно стандартной методике, определяли предел прочности при сжатии в возрасте 7 (R_7 , МПа) и 28 (R_{28} , МПа) суток твердения образцов в нормальных условиях [23]. Впоследствии предложенные составы самоуплотняющихся бетонов классов прочности В20...В40 без использования ультрадисперсных наполнителей (микрокремнезема и золы) приведены в таблице 3.

Расчет стоимости полученных составов СУБ

Основываясь на результатах испытаний образцов СУБ, рассчитана стоимость экспериментально полученных составов бетона без введения минеральных добавок (ультрадисперсных наполнителей), исходя из расценок на материалы и изготовление по состоянию на 01.05.2014 г.

Кроме того, выполнено сравнение стоимости полученного самоуплотняющегося бетона классов по прочности В20...В40 с классическим тяжелым бетоном, которое показало значительное

удешевление СУБ, в среднем на 35...40 %, в первую очередь за счет отсутствия в их составе микрокремнезема или золы. Результаты расчета стоимости приведены в таблице 4.

Общая экономичность и перспективы применения СУБ в строительстве

Если сравнивать цены на примере стран Евросоюза (Испании, Италии, Германии, Франции), где СУБ уже получил достаточную популярность, то

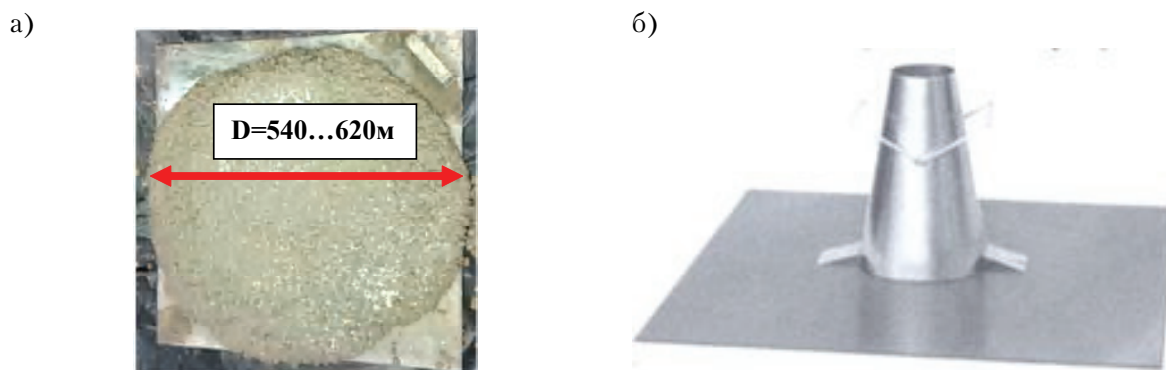


Рисунок 1. Контроль подвижности и эффекта седиментации СУБ методом «конуса»: а) расплыв цементного теста с равномерным распределением щебня в объеме материала, б) конус «Абрамса».



Рисунок 2. Процесс испытания образцов самоуплотняющегося бетона.

вследствие своего модифицированного состава и стоимости отдельных компонентов бетонной смеси он дороже обычного тяжелого бетона. Разница в цене в среднем составляет 13...18 Евро за 1 м³. Это удорожание бетона компенсируется экономией средств при его укладке и целой группой других преимуществ данного типа бетона.

Анализ работ по бетонированию в Европе показал, что за счёт отсутствия необходимости в уплотнении бетонной смеси на строительной площадке экономия средств при использовании СУБ при бетонировании отдельных строительных конструкций может составлять от 3 до 6 Евро за конструкцию. Кроме того, необходимость уплотнения бетона, например при бетонировании вертикально стоящих конструкций (например, ж/б колонн или опор), вызывает необходимость частых перерывов при подаче бетонной смеси, а при использовании самоуплотняющегося бетона такие перерывы практически исключены.

На строительных площадках бывшего СССР очень часто приходилось сталкиваться с ситуа-

циями, когда использование самоуплотняющегося бетона было, безусловно, необходимо, а именно:

- при бетонировании на большой высоте или на воде, когда процесс уплотнения крайне затруднён и, следовательно, требует значительных материальных затрат и небезопасен для персонала;
- при бетонировании густоармированных конструкций, где обычный бетон не имеет возможности качественно заполнять полость опалубки, что ведёт к появлению дефектов и преждевременной коррозии арматурного каркаса;
- при бетонировании конструкций сложной геометрической формы, а также конструкций, к которым предъявляются особые требования по качеству наружной поверхности бетона;
- при бетонировании опор мостов, плотин, туннелей и других труднодоступных сооружений (на воде или в горной местности), где непре-

Таблица 3. Экспериментальный состав СУБ классов прочности В20...В40 без минеральных вяжущих (на 1 м³)

Класс бетона	Цемент 32,5 (ПЦ II 32,5), кг	Щебень (фр. 5...10), кг	Песок, кг	Пластификатор Viscocrete 5720		Вода, л	$\frac{B}{C}$	R ₂₈ (R ₇), МПа	Текущность бетона, D ₆ , мм
				кг	%				
В20	200	600	900	3,8	1,9	100	0,5	19,6 (5,7)	540
В25	220	600	900	4,1	1,82	105	0,48	25,4 (16,6)	540
В30	250	600	900	4,4	1,75	110	0,44	30,8 (24,5)	560
В35	300	600	900	4,5	1,5	120	0,4	35,7 (28,6)	550
В40	300 (M500)	600	900	4,5	1,5	120	0,4	39,8 (32)	620

Таблица 4. Сравнительная стоимость самоуплотняющегося и обычного бетона за 1 м³ (по состоянию на 01.05.2014 г.)

Класс	В20		В25		В30		В35		В40	
	M250		M300		M350		M400		M450	
Тип *	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Стоимость, грн. / м ³	335	510	360	560	380	610	460	710	510	765

* – самоуплотняющийся бетон предложенных составов (см. табл. 3);

** – классический тяжелый бетон.

равно необходимо подавать большое количество бетона, а работа персонала крайне затруднена и небезопасна.

Если учесть факт того, что многие отечественные строительные организации уже приобрели высококачественную современную опалубку, а самоуплотняющийся бетон в точности повторяет поверхность опалубки и не имеет полостей и каверн, то использование этого бетона даст существенный выигрыш по качеству наружной поверхности по сравнению с обычным бетоном (т. е. во многих случаях отпадёт необходимость в дальнейшей отделке: шпатлёвке и т. д.). А это также приведёт к существенному сокращению затрат на строительство. Более того, из-за отсутствия процесса вибрирования можно использовать более простую и менее массивную конструкцию опалубки.

Стоит добавить, что зарплата персонала на отечественных строительных площадках за последние 10 лет значительно возросла. Если необходимость в уплотнении бетонной смеси при монтаже конструкций за счёт использования самоуплотняющегося бетона отпадёт и появится возможность подавать бетон не сверху, а непосредственно в опалубку, то это приведёт к возможности сокращения персонала на время бето-

нирования и, следовательно, к экономии средств и повышению безопасности при выполнении данного вида работ.

Выводы

1. Экспериментально получены рецептуры самоуплотняющегося бетона классов прочности В20...В40 без включения минеральных добавок (ультрадисперсных наполнителей) для использования в составе многогранных композитных конструкций для городских условий. Компоненты для СУБ получены на территории провинции Аликанте (Испания).
2. Количественные дозировки компонентов для полученного состава СУБ существенно разнятся по сравнению с аналогичной рецептурой данного вида бетона, например для Донбасса, что связано в первую очередь с региональными признаками использованных компонентов.
3. Рассчитана стоимость полученных составов самоуплотняющегося бетона и выполнен ее сравнительный анализ со стоимостью классического тяжелого бетона аналогичных классов прочности, указавший на удешевление предложенного СУБ в среднем на 35...40 %.

Литература

1. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны [Текст] / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – М. : АСВ, 2006. – 368 с.
2. Зайченко, Н. М. Оптимизация состава высокопрочного бетона по критериям удобоукладываемости смесей и прочности бетона [Текст] / Н. М. Зайченко, А. К. Халюшев, Е. В. Сахошко // Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. Одеса : МПП «ЕВЕН», 2004. Вип. 15. С. 126–133.
3. Зайченко, Н. М. Самоуплотняющиеся бетоны, дисперсно-армированные полимерными волокнами [Текст] / Н. М. Зайченко, С. В. Лахтарина // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : Зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2013. Вип. 22. С. 63–70.
4. Болотских, О. Н. Самоуплотняющийся бетон и его диагностика [Текст] / О. Н. Болотских // Бетон и железобетон в Украине. 2006. № 6. С. 2–6.
5. Self-Consolidating Concrete [Текст] : Reported by ACI Committee 237 / American Concrete Institute. –

References

1. Bazhenov, Yu. M.; Demianova, V. S.; Kalashnikov, V. I. Modified high quality concrete. Moscow: ASV, 2006. 368 p. (in Russian)
2. Zaichenko, N. M.; Haliushev, A. K.; Sahoshko, E. V. Optimization of compound of high quality concrete according to criterion of remoulding effort of mixtures and concrete strength. In: *Mercury of Odessa National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2004, Issue 15, pp. 126–133. (in Russian)
3. Zaichenko, N. M.; Lahtarina, S. V. Self Compacting concrete, dispersed metal clad by polymeric fiber. In: *Edited Volume «Resource efficient materials, constructions, buildings and structures»*, 2013, Issue 22, pp. 63–70. (in Russian)
4. Bolotских, O. N. Self compacting concrete and its diagnostic operation. In: *Concrete and reinforced concrete in Ukraine*, 2006, No. 6, pp. 2–6. (in Russian)
5. Self-Consolidating Concrete: Reported by ACI Committee 237 / American Concrete Institute. April 2007. [Farmington Hills]: ACI, 2007. 32 p. ISBN 978-0-87031-244-1.

- April 2007. – [Farmington Hills] : ACI, 2007. – 32 p. – ISBN 978-0-87031-244-1.
6. Report 23: Self-Compacting Concrete [Текст]. State-of-the-art report of RILEM Technical Committee 174-SCC / Edited by A. Skarendahl, C. Petersson. – Cachan Cedex, Francia : RILEM Publications S.A.R.L., 2001. – 166 p. – ISBN 2-912143-23-3.
 7. State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete [Текст] : Reported by ACI Committee 363 / American Concrete Institute. – Farmington Hills, USA : ACI, 1997. – 55 p.
 8. Bartos, P. J. M. Self-compacting concrete [Текст] / P. J. M. Bartos // *Concrete*. 1999. Vol. 33(4). P. 9–14.
 9. Siddique, R. Properties of self-compacting concrete containing class F fly ash [Текст] / R. Siddique // *Materials & Design*. 2011. 32(3). P. 1501–1507.
 10. Felekoğlu, B. Effect of chemical structure of polycarboxylate-based superplasticizer on workability retention of self-compacting concrete [Текст] / Burak Felekoğlu, Hasan Sarikahya // *Construction and Building Materials*. 2008. Vol. 22, No. 9. P. 1972–1980.
 11. Mechanical and durability properties of high performance concretes containing supplementary cementitious materials [Текст] / A. Elahi, P. A. M. Basheer, S. V. Nanukuttan, Q. U. Z. Khan // *Construction Buildings Materials*. 2010. Vol. 24, No. 3. P. 292–299.
 12. Okamura, H. M. Self-compacting concrete [Текст] / H. M. Okamura, M. Ouchi // *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2003. Vol. 1(1). P. 5–15.
 13. Laboratory-test and filled-experience SCC's [Текст] / M. Collepardi, S. Collepardi, J. J. Ogoumah Olagat, R. Troli // *Proceedings of the 3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Reykjavik (Iceland). 17–20 August 2003 / Ed by O. Wallevik and I. Nielsson*. – Bagnaux, France : Publications SARL, 2003. – P. 904–912.
 14. Bouzoubaa, N. Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash-preliminary results [Текст] / N. Bouzoubaa, M. Lachemi // *Cement and Concrete Research*. 2001. Vol. 31, No. 3. P. 413–420.
 15. El-Dieb, Amr S. Mechanical, durability and microstructural characteristics of ultrahigh-strength self-compacting concrete incorporating steel fibers [Текст] / Amr S. El-Dieb // *Materials and Design*. 2009. Vol. 30(10). P. 4286–4292.
 16. Fracture behaviour of self compacting concrete [Текст] / C. Fava, L. Bergol, G. Fornasier [et al.] // *Proceedings of the 3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Reykjavik (Iceland). 17–20 August 2003 / Edited by O. Wallevik and I. Nielsson*. – Bagnaux, France : Publications SARL, 2003. – P. 628–636.
 17. Domone, P. L. Self-compacting concrete: an analysis of 11 years of case studies [Текст] / P. L. Domone // *Cement and Concrete Composites*. 2006. Vol. 28. P. 197–208.
 18. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete [Текст]. Specification, Production and Use /
 6. Report 23: Self-Compacting Concrete. State-of-the-art report of RILEM Technical Committee 174-SCC / Edited by A. Skarendahl, C. Petersson. Cachan Cedex, Francia: RILEM Publications S.A.R.L., 2001. 166 p. ISBN 2-912143-23-3.
 7. American Concrete Institute. State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete: Reported by ACI Committee 363. Farmington Hills, USA: ACI, 1997. 55 p.
 8. Bartos, P. J. M. Self-compacting concrete. In: *Concrete*, 1999, Vol. 33(4), pp. 9–14.
 9. Siddique, R. Properties of self-compacting concrete containing class F fly ash. In: *Materials & Design*, 2011, 32(3), pp. 1501–1507.
 10. Felekoğlu, Burak; Sarikahya, Hasan. Effect of chemical structure of polycarboxylate-based superplasticizer on workability retention of self-compacting concrete. In: *Construction and Building Materials*, 2008, Vol. 22, No. 9, pp. 1972–1980.
 11. Elahi, A.; Basheer, P. A. M.; Nanukuttan, S. V.; Khan, Q. U. Z. Mechanical and durability properties of high performance concretes containing supplementary cementitious materials. In: *Construction Buildings Materials*, 2010, Vol. 24, No. 3, pp. 292–299.
 12. Okamura, H. M.; Ouchi, M. Self-compacting concrete. In: *Journal of Advanced Concrete Technology*, 2003, Vol. 1(1), pp. 5–15.
 13. Collepardi, M.; Collepardi, S.; Ogoumah Olagat, J. J.; Troli, R. Laboratory-test and filled-experience SCC's. In: *Proceedings of the 3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Reykjavik (Iceland). 17–20 August 2003 / Ed by O. Wallevik and I. Nielsson*. Bagnaux, France: RILEM, 2003, pp. 904–912.
 14. Bouzoubaa, N.; Lachemi, M. Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash-preliminary results. In: *Cement and Concrete Research*, 2001, Vol. 31, No. 3, pp. 413–420.
 15. El-Dieb, Amr S. Mechanical, durability and microstructural characteristics of ultrahigh-strength self-compacting concrete incorporating steel fibers. In: *Materials and Design*, 2009, Vol. 30(10), pp. 4286–4292.
 16. Fava, C.; Bergol, L.; Fornasier, G. et al. Fracture behaviour of self compacting concrete. In: *Proceedings of the 3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Reykjavik (Iceland). 17–20 August 2003 / Edited by O. Wallevik and I. Nielsson*. Bagnaux, France: Publications SARL, 2003, pp. 628–636.
 17. Domone, P. L. Self-compacting concrete: an analysis of 11 years of case studies. In: *Cement and Concrete Composites*, 2006, Vol. 28, pp. 197–208.
 18. The European Precast Concrete Organisation [et al.]. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specification, Production and Use. [S. l.: s. n.], 2005. 63 p.
 19. Lopez, A.; Tobes, J. M.; Giaccio, G.; Zerbino, R. Advantages of mortar-based design for coloured self-compacting concrete. In: *Cement and Concrete Composites*, 2009, Vol. 31, No. 10, pp. 754–761.

- The European Precast Concrete Organisation [et al.]. – [S. l. : s. n.], 2005. – 63 p.
19. Advantages of mortar-based design for coloured self-compacting concrete [Текст] / A. Lopez, J. M. Tobes, G. Giaccio, R. Zerbino // *Cement and Concrete Composites*. 2009. Vol. 31, No. 10. P. 754–761.
 20. Collepardi, M. Pratical applications of SCC in european works [Текст] / M. Collepardi, S. Collepardi, R. Troli // *Proc. Int. Conf.: Sustainable construction materials and technologies. 11–13 June 2007 Coventry : Special papers proceedings / Editors: Rudolph N. Kraus, Tarun R. Naik, Peter Claisse, Sadeghi-Pouya*. Milwaukee: Pub. UW, CBU, 2007, pp. 51–50.
 21. El Barrak, M. Self-compacting concrete paste constituents: hierarchical classification of their influence on flow properties of the paste [Текст] / M. El Barrak, M. Mouret, A. Bascoul // *Cement and Concrete Composites*. 2009. Vol. 1. P. 2–21.
 22. Jacobs, F. Design of self-compacting concrete for durable concrete structures [Текст] / F. Jacobs, F. Hunkeler // *First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Sweden / Editors: A. Skarendahl, O. Petersson*. [Stockholm, Sweden]: RILEM Publications SARL, 1999. – P. 397–407.
 23. UNE-EN 12390-3:2001. Ensayos de hormigón endurecido [Текст]. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas / Norma española. Madrid : Asociación Española de Normalización y Certificación, 2001. – 19 p.
 24. Spezialbetone / B. Hillemeier, G. Buchenau, R. Herr [et al.] // *Beton-Kalender*. 2006. Band 1. P. 534–549.
 25. Performance of Self-Compacting Concrete Containing Different Mineral Admixtures [Текст] / P. Ramanathan, I. Baskar, P. Muthupriya, R. Venkatasubramani // *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2013. No. 17(2). P. 465–472.
 20. Collepardi, M.; Collepardi, S.; Troli, R. Pratical applications of SCC in european works. In: *Proc. Int. Conf.: Sustainable construction materials and technologies. 11–13 June 2007 Coventry: Special papers proceedings / Editors: Rudolph N. Kraus, Tarun R. Naik, Peter Claisse, Sadeghi-Pouya*. Milwaukee: Pub. UW, CBU, 2007, pp. 51–50.
 21. El Barrak, M.; Mouret, M.; Bascoul, A. Self-compacting concrete paste constituents: hierarchical classification of their influence on flow properties of the paste. In: *Cement and Concrete Composites*, 2009, Vol. 1, pp. 2–21.
 22. Jacobs, F.; Hunkeler, F. Design of self-compacting concrete for durable concrete structures. In: *First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Sweden / Editors: A. Skarendahl, O. Petersson*. [Stockholm, Sweden]: RILEM Publications SARL, 1999, pp. 397–407.
 23. UNE-EN 12390-3:2001. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas / Norma española. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación, 2001. 19 p.
 24. Hillemeier, B.; Buchenau, G.; Herr, R.; Huttel, R.; Kluendorf, St.; Schubert, K. Spezialbetone. In: *Beton-Kalender*, 2006, Band 1, pp. 534–549.
 25. Ramanathan, P.; Baskar, I.; Muthupriya, P.; Venkatasubramani, R. Performance of Self-Compacting Concrete Containing Different Mineral Admixtures. In: *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2013, No. 17(2), pp. 465–472.

Гаранжа Ігор Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи металевих ґратчастих, багатограних листових і труботонних опор повітряних ліній електропередавання, створення нових конструктивних рішень опор ПЛ із застосуванням прогресивних технологій і матеріалів.

Лахтарина Сергій Вікторович – асистент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: конструкційні легкі бетони з підвищеним коефіцієнтом конструктивної якості.

Зайченко Микола Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: високоміцні і особливо високоміцні бетони на основі модифікованих дисперсних компонентів бетону.

Танасогло Антон Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередачі і антенних опор, вивчення дійсної роботи металевих ґратчастих конструкцій баштового типу.

Бакаєв Сергій Миколайович – доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: забезпечення надійної роботи і довговічності конструкцій опор повітряних ліній, порталів і стійок під обладнання відкритих розподільчих пристроїв електричних підстанцій в умовах

підвищення потужностей енергоспоживання та з урахуванням умов і відмінностей їх експлуатації, проектування конструкцій з гарантованими показниками довговічності.

Гаранжа Софія Віталіївна – магістрант кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи і пошук раціональних конструктивних рішень трубобетонних конструкцій з використанням прогресивних матеріалів.

Гаранжа Игорь Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение действительной работы металлических решетчатых, многогранных листовых и трубобетонных опор воздушных линий электропередачи, создание новых конструктивных решений опор ВЛ с применением прогрессивных технологий и материалов.

Лахтарина Сергей Викторович – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: конструкционные легкие бетоны с повышенным коэффициентом конструктивного качества.

Зайченко Николай Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: высокопрочные и особо высокопрочные бетоны на основе модифицированных дисперсных компонентов бетона.

Танасогло Антон Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: эксплуатационная надежность и оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор, изучение действительной работы металлических решетчатых конструкций башенного типа.

Бакаев Сергей Николаевич – доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: обеспечение надежной работы и долговечности конструкций опор воздушных линий, порталов и стоек под оборудование открытых распределительных устройств электрических подстанций в условиях повышения мощностей энергопотребления и с учетом условий и различий их эксплуатации, проектирования конструкций с гарантированными показателями долговечности.

Гаранжа София Витальевна – магістрант кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: изучение действительной работы и поиск рациональных конструктивных решений трубобетонных конструкций с использованием прогрессивных материалов.

Garanzha Igor – Ph.D. (Engineering), Associated Professor; Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of the valid work steel lattice, multifaceted and composite supports of overhead power transmission lines. Creation new constructive decisions of OPTL supports with application progressive technologies and materials.

Lakhtaryna Serhii – assistant; Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interest: structural lightweight concrete with increased coefficient of the constructive quality.

Zaichenko Mykola – D.Sc. (Engineering), Professor, the head of Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high-strength and high-performance concretes based on modified fillers.

Tanasoglo Anton – Ph.D. (Engineering), Associated Professor; Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: operational reliability and optimal designing of overhead power transmission line and antenna support structures, studying of the valid work of metal lattice tower supports.

Bakayev Sergii – PhD (Engineering), Associate Professor; Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: reliable operation supply and durability of the transmission line supports structures, portal frames and pillars underneath the equipment of outdoor switchgears of electric substation in terms of the power consumption stepping up and with regards to the conditions and distinctions of their operation, structural designing work with the guarantee indices of durability.

Garanzha Sofiiia – master student; Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: a studying of a real work of pipe-concrete structures using advanced materials.