

САМОУПЛОТНЯЮЩИЙСЯ БЕТОН В АРХИТЕКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

УДК 691.3

ББК 38.33

А.К. Соловьев, К.А. Соловьев, Н.В. Стекольников

Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

Аннотация

В статье рассматривается история развития бетонов, создание, состав, свойства и преимущества самоуплотняющегося бетона по сравнению с обычными бетонами. Благодаря своим свойствам самоуплотняющийся бетон получил широкое распространение в Западной Европе. Сначала он использовался на предприятиях, производивших готовые железобетонные изделия, затем начинает активно применяться в качестве «транспортного бетона», бетона, который доставляется и укладывается непосредственно на строительной площадке. Его применяют в следующих сферах строительства: при сооружении гидротехнических конструкций; для изготовления сборного железобетона; при строительстве монолитных полов без швов; для конструкций с качественной поверхностью, на которой не требуется дополнительная обработка; при строительстве ограждений или тонких стен, когда требуется минимальный вес перекрытий и других целях. Таким образом, его применение в современной архитектуре Хай-Тека может быть востребовано так как он позволяет возводить архитектурные сооружения разнообразных форм.¹

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, архитектурные конструкции, история бетона, архитектура Хай-Тека, sichtbeton

SELF-COMPACTING CONCRETE IN ARCHITECTURAL STRUCTURES

A.K. Solovyev, K.A. Solovyov, N.V. Stekolnikov

Moscow state Construction University, Moscow, Russia

Abstract

The article deals with the history of the development of concrete, the creation, composition, properties and advantages of self-compacting concrete compared to conventional concrete. Due to its properties, self-compacting concrete has become widespread in Western Europe. At first it was used at the enterprises which made ready reinforced concrete products, then begins to be applied actively as "transport concrete", concrete which is delivered and stacked directly on a construction site. It is used in the following areas of construction: in the construction of hydraulic structures; for the manufacture of precast concrete; in the construction of monolithic floors without joints; for structures with high-quality surface, which does not require additional processing; in the construction of fences or thin walls, when the minimum weight of floors and other purposes. Thus, its use in modern high-Tech architecture can be in demand as it allows to build architectural structures of various forms.²

Keywords: self-compacting concrete, architectural constructions, the concrete history, high-Tech architecture, sichtbeton

¹ **Для цитирования:** Соловьев А.К. Самоуплотняющийся бетон в архитектурных конструкциях / А.К. Соловьев, К.А. Соловьев, Н.В. Стекольников // Architecture and Modern Information Technologies. – 2018. – №2(43). – С. 171-184 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://marhi.ru/AMIT/2018/2kvart18/11_solovev_stekolnikov/index.php

² **For citation:** Solovyev A.K., Solovyov K.A., Stekolnikov N.V. Self-Compacting Concrete in Architectural Structures. Architecture and Modern Information Technologies, 2018, no. 2(43), pp. 171-184. Available at: http://marhi.ru/eng/AMIT/2018/2kvart18/11_solovev_stekolnikov/index.php

Глядя на церковь Нотр-Дам-де-Рэнси (рис. 1), на купол Пантеона и стены Колизея, неспециалисты могут задать вопрос: благодаря каким материалам эти красота и величие были созданы и как сохранились до наших дней? В настоящее время мы окружены бетонными зданиями и конструкциями. Высокопрочный материал стал частью нашей жизни. Как и большинство строительных материалов, бетон прошел долгий путь развития. «При раскопках на берегу Дуная археологи обнаружили остатки жилья 5000-летней давности, где полы толщиной 25 см представляли собой доисторическую бетонную заливку: в качестве вяжущего вещества выступала красная глина, армирующим элементом служил мелкий речной гравий»³.

Таким образом, эволюция бетона идёт с IV–V вв. до н.э. и более ранних периодов до настоящего времени по пути совершенствования вяжущего от красной глины до извести. Отдельные примеры связывания мелких камней растворами или использование раствора с крупным заполнителем были известны в глубокой древности у египтян, вавилонян, финикийцев и карфагенян. Наиболее раннее применение бетона в Египте обнаружено в гробнице Табесе (Теве) (рис. 2), датируемой 1950 г. до н.э. Бетон был применен при строительстве галерей египетского лабиринта и монолитного свода пирамиды Пакаля в Мексике (Рис. 3).



Рис. 1. Церковь Нотр-Дам-де-Ренси. 1923 г. Арх. Огюст Перре



Рис. 2. Гробница Табесе (Египет 1950 г. д.н.э.)

³ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://365-tv.ru/index.php/stati/istoriya-tv/80-beton-istoricheskij-rakurs>



Рис. 3. Пирамида Пакаля (Паленке, Мексика)

Египтяне использовали в качестве вяжущего вещества гипс и известь. «Четверть века назад мир облетело предположение швейцарского профессора-химика Джозефа Давидовица об искусственном изготовлении блоков из геополимерного бетона, составляющих пирамиду Хеопса» [2]. Обследуя известняковые блоки, профессор в каменной массе одного из них нашел человеческий волос, который мог оказаться там лишь в одном случае: упал с головы рабочего при замешивании раствора. Результатом дальнейших поисков ученого стала надпись на стеле периода III династии. Расшифрованные иероглифы содержали рецепт приготовления древнего бетона. Независимое исследование выявило, что основание Великих пирамид сложено из природных известняков, а несколько верхних рядов выполнены из бетона. Состав бетонной смеси включает пальмовую золу, песчаниковую крошку и разновидность соды, полученную из нильской воды.

В Индии уже в наше время в храмах и дворцах знати были обнаружены хорошо сохранившиеся бетонные «набивные» полы (IV-V вв. до н.э.). Одними из первых начали применять бетон древние жители Китая. Великая Китайская стена, строительство которой было начато в III веке до н.э., сооружена частично из бетона (рис. 4).



Рис. 4. Великая Китайская стена

Приготовление бетона и формование из него стен можно описать так: одна часть известкового теста тщательно перемешивалась с двумя частями песка и гравия, затем такая сухая бетонная смесь с небольшим содержанием воды укладывалась слоями толщиной около 12 см между деревянными щитами опалубки и усиленно уплотнялась деревянными трамбовками. Следующий бетонный слой укладывался на увлажненную поверхность предыдущего. Процесс повторялся до полного возведения стены.

«Француз Роберт Шарру считал, что строительный материал, похожий на бетон, применяли кельты, населявшие часть территории современной Европы. Он приводил мнение профессионального химика, который в течение многих лет исследовал тумулы – каменные монументы кельтов в Галлии и проводил анализы почвы, которые привели его к однозначному выводу: сооружения возводились с применением бетона (или строительного раствора)» [3, с.406] (рис. 5).



Рис. 5. Тумулы – каменные монументы кельтов

Идею создания искусственного бетона древним строителям подсказала сама природа. Птичьи гнезда, сооруженные из веток, травы, и укрепленные глиной, птичьей слюной и другими вяжущими веществами есть не что иное, как наглядное воплощение принципа получения бетона. Сырцовый кирпич, который использовали при строительстве мастера древнего Египта, можно отнести к старейшему прародителю бетона: речную гальку египтяне смешивали с измельченной соломой и илом. В древнем Китае в качестве вяжущего вещества мастера использовали разваренный рис, приправленный гашеной известью. Именно такой «рисовой кашей» скреплены каменные блоки Великой китайской стены.

Мастерством бетонирования владели и предшественники древних римлян – этруски, жившие в первом тысячелетии до н.э. Позже способы сооружения зданий из смеси природного камня, глины, земли, известняка с песком и соломой развили и усовершенствовали умельцы Римской империи. Изготавливаемый ими искусственный камень дал старт развитию научно-технического прогресса того времени и открыл новые горизонты для развития мировой архитектуры. Поначалу бетонная масса в Римской империи использовалась как уплотнитель кладки из кирпича или тесаного камня. Чуть позже мастерские научились изготавливать самостоятельные строительные элементы из этого материала. Как правило, бетонные конструкции древние римляне изготавливали следующим образом: в форму укладывались слои из каменных обломков, чаще всего туфа, пемзы, вулканического песка и жидкого известкового концентрата. Затем массу обильно увлажняли морской водой, утрамбовывали и высушивали. Совместив в одном

процессе изготовления и укладку бетона, древние римляне достигали небывалой прочности конструкций.

Использовалась и другая технология: известь обжигали, гасили, смешивали с песком или другими добавками, затем заливали полученной массой слой крупного щебня и засыпали землей. Без проникновения воздуха конструкция застывала год или два и становилась прочной, как гранит. Из бетона возводились жилые дома, термы, акведуки, крепости, причалы, мосты. Благодаря высоким эксплуатационным характеристикам римского бетона и виртуозному исполнению выверенных инженерных решений до наших дней сохранились такие шедевры мировой архитектуры, как амфитеатр Колизей, храм в честь всех богов Римской Империи – Пантеон (рис. 6,7).



Рис. 6. Амфитеатр Колизей, Рим, Италия



Рис. 7. Кессоны бетонного купола Пантеона, Рим, Италия

Панельное домостроение уходит в историю. Изобретению железобетона предшествовало открытие цемента – особого вяжущего вещества, способного затвердевать после добавления к нему воды. В 1796 году англичанин Паркер путем обжига смеси глины и извести получил романцемент – первую в истории марку цемента. Впервые патент на использование железобетона взял в 1854 году английский штукатур Вильям Уилкинсон. В

дальнейшем он широко применял железобетон при строительстве перекрытий, а в 1865 году возвел в Ньюкасле-на-Тайне небольшой домик, целиком из железобетонных конструкций (рис. 8).

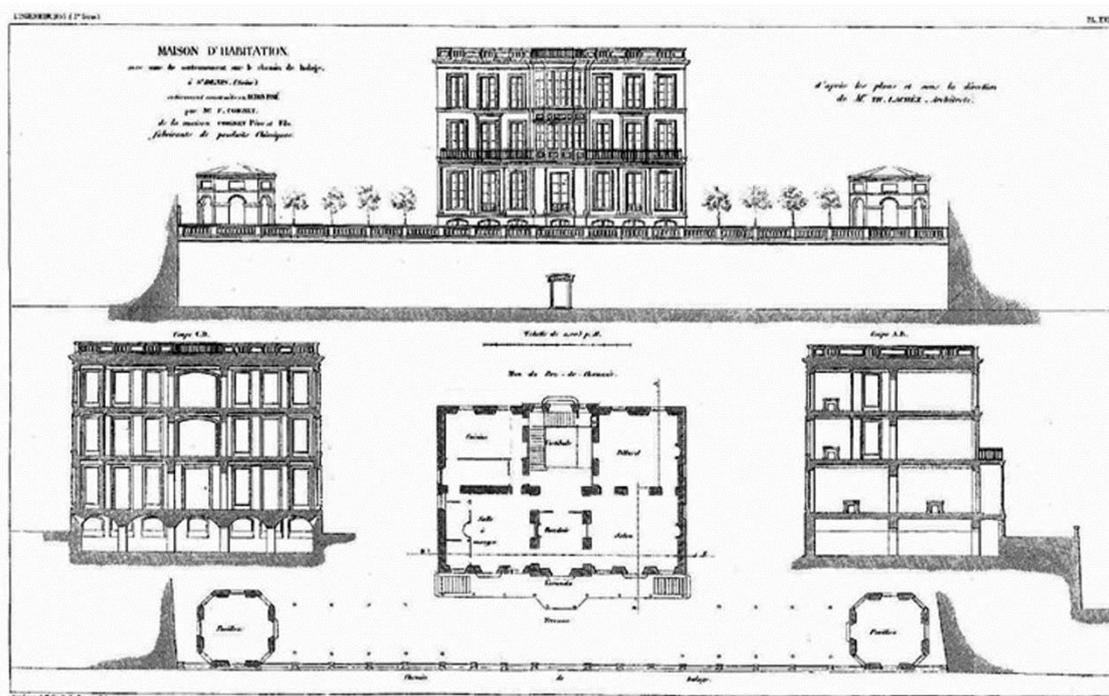


Рис. 8. Дом в Ньюкасле-на-Тайме. 1865 г. В. Уилкинсон

Одновременно с Уилкинсоном свои опыты с железобетоном начал во Франции строительный подрядчик Куанье. Однако его фирма разорилась. Поэтому честь открытия железобетона связывается с именем другого француза – Жозефа Монье. Монье служил садовником в садоводческой фирме «Братья Флер» в Версале. В 1861 году он провёл опыты по изготовлению из песка и цемента садовых кадок. Вскоре ему удалось сделать бетонную кадку, в которой было посажено апельсиновое дерево. Позднее Монье обнаружил трещины в стенках этой кадки. Тогда он укрепил ее железными обручами из проволоки. Железо вскоре стало ржаветь, образуя грязно-бурые пятна и подтеки на поверхности кадки. Чтобы улучшить ее внешний вид Монье обмазал ее сверху цементным раствором. Получившаяся таким образом железобетонная кадка оказалась настолько хороша, что Монье пришел к мысли и впредь делать кадки подобным образом.

В последующие годы были открыты новые рецепты получения цемента. Смешанный в определенных пропорциях с гравием, песком и водой, цемент образовывал бетон. Благодаря своим пластическим свойствам (сырой его массе можно придать любую форму, которая сохранялась после застывания) бетон в первой половине XIX века широко вошел в употребление при строительных работах. Конструкции из бетона обладали высокой прочностью на сжатие, огнестойкостью, водостойкостью, жесткостью и долговечностью. Но они, как и любой камень, плохо выдерживали нагрузку на растяжение, поэтому их использование было достаточно ограниченным. Бетон применяли в основном для сооружения тонких перегородок и балок пролетом до 4 м. Основным материалом для несущих конструкций служило железо в виде разного рода кованых стержней и полос.

Монолитный и сборно-монолитный способы возведения зданий и сооружений приобретают в настоящее время все большее распространение. Панелевозы уступают место автобетоносмесителям, доставляющим бетонную смесь на строительную площадку. В России почти половина зданий строится на основе монолитного и сборно-

монолитного способа. Установка арматурных каркасов и опалубки, доставка, укладка и уплотнение бетонной смеси с последующим уходом за ней являются сейчас основными компонентами процесса возведения таких зданий. А можно ли сейчас у нас упростить и удешевить этот процесс без ущерба для качества строительства, например, исключив процесс вибрирования бетонной смеси? Можно, за счет использования самоуплотняющегося бетона, который уже около 25 лет успешно используется на строительных площадках во всем мире. Самоуплотняющийся бетон – это бетон, который без воздействия на него дополнительной внешней уплотняющей энергии, самостоятельно, под воздействием собственной массы течет, освобождается от содержащегося в нем воздуха и полностью заполняет пространство между арматурными стержнями и опалубкой. Самоуплотняющийся бетон содержит такой же остаточный объем пор, как и «вибрированный» бетон.

Отсутствие тесной взаимосвязи между строительной наукой и практикой, недостаточно квалифицированный и незаинтересованный персонал на строительных площадках и в проектных бюро и использование старых технологий, средств механизации и материалов в строительстве во времена «развитого» социализма привели к значительному отставанию строительной отрасли в бывшем Советском Союзе по сравнению Западом. Результаты этого «развития» мы и сейчас можем наблюдать на улицах наших городов:

1. однообразие и серость городской застройки;
2. низкое качество строительства;
3. применение недолговечных и зачастую опасных для здоровья человека материалов;
4. некомфортные условия проживания в большинстве зданий старой послевоенной постройки.

«В последние 10 лет ситуация на строительных площадках бывшего СССР изменяется к лучшему. С развитием рыночных отношений к качеству строительного производства и к дисциплине и безопасности труда предъявляются всё более жёсткие требования. У производителей строительных материалов начали появляться современные строительные лаборатории и приборы, позволяющие постоянно контролировать качество входного сырья и готовой продукции. Также осуществляется контроль качества и непосредственно на строительных площадках. Применение самоуплотняющегося бетона может только улучшить качество строительного производства и улучшить безопасность на производстве» [4, с. 28-31].

Что такое самоуплотняющийся бетон (рис. 9, 10)?



Рис. 9. Самоуплотняющийся бетон



Рис. 10. Япония – дома из белого самоуплотняющегося бетона

«Материал уникален, так как имеет возможность уплотняться под действием собственного веса. Проще говоря, когда обычные растворы заливаются в опалубку, необходим уплотнитель для бетона. Рассматриваемый нами тип растворов сам способен полностью заполнить любые формы даже при изготовлении густоармированных конструкций. Технология нова, но, несмотря на это, находит все большее применение. Наиболее перспективной сферой использования таких бетонов становится промышленное производство ЖБИ и устройство монолитных сооружений, таких, например, как высокопрочные бесшовные бетонные полы. Не меньшей востребованностью технология пользуется при проведении торкрет бетонирования, усиления и реставрации уже эксплуатируемых конструкций» [5, с.18-19].

В 70-х годах прошлого века был разработан ряд высокопрочных бетонов, модифицированных рядом добавок-суперпластификаторов. Например, такие составы в 1970 году были применены при возведении монолитных сооружений на нефтедобывающих платформах, эксплуатируемых в особо сложных климатических условиях (рис. 11). В соответствии с ГОСТ 7473-2010 самоуплотняющийся бетон отличается от обычных бетонов пониженным водоцементным отношением (не больше 0,4), в то же время достигаются высокие показатели удобоукладываемости материала: в среднем – 70 см. Параметры прочности готовых конструкций составляют не менее 100 МПа.



Рис. 11. Монолитные сооружения на нефтедобывающих платформах

В архитектуре второй половины XX века монолитный бетон играл важную роль. Он позволял возводить сооружения разнообразных современных форм. При этом, особенно в архитектуре 70–80-х годов XX столетия, модным становится устройство бетонных поверхностей, на которых отпечатывается материал опалубки и рисунок его текстуры. Вибрирование бетонной смеси не позволяло качественно воспроизводить этот рисунок. С появлением самоуплотняющегося бетона это стало возможным. В Германии этот прием получил название «sichtbeton» (бетон, рассчитанный на обозрение). В современной нам архитектуре «Хай-Тек» основное внимание уделяется стальным конструкциям и стеклу, используемому в качестве ограждающих конструкций. Однако использование стали и стекла в сочетании с массивными поверхностями из «sicht-бетона» могут стать новым импульсом для развития архитектуры, основанной на контрасте «Хай-Тека» и массивных поверхностей бетона с качественными отпечатками рисунка опалубки.

В ходе строительства и последующей эксплуатации таких сооружений были сформулированы рекомендации и ограничения применительно к введению суперпластификаторов: введение суперпластификаторов при определённой дозировке способно обернуться замедлением схватывания смеси. При транспортировке смеси в течение 1 часа и более эффективность действия введенной добавки уменьшается, в результате снижается степень подвижности раствора. «Применение суперпластификаторов провоцирует расслоение плотной смеси при транспортировке по трубопроводу на расстояние более 200 метров. В итоге качество готовых изделий существенно снижается. Это обстоятельство необходимо особо учитывать при промышленном проведении строительства с использованием специальных бетононасосов.

Повсеместная реализация грандиозных строительных проектов диктовала необходимость изготовления принципиально новых бетонов, отвечающих самым высоким эксплуатационным требованиям. Среди этих требований особого упоминания заслуживают сжатые сроки, необходимые как для проведения бетонирования, так и для набора марочной прочности готовым изделием» [6, С.84-88].

«История самоуплотняющегося бетона началась в Японии в 1990 г. Там профессором Хайимой Окамуры было создано и внедрено в практику новое поколение добавок к бетону – высокоэффективные добавки для улучшения текучести на базе полиакрилата и поликарбоксилата» [7, С.40-42]. В результате удалось получить бетон, имеющий высокую пластичность при низком содержании воды. «Кроме Окамуры, в создании и развитии самоуплотняющегося бетона принимали участие профессора К. Маекава и К. Озава. Однако ещё в 1986 году японскими учеными был разработан особо прочный состав самоуплотняющегося бетона с рядом уникальных качеств. Новый материал получил название «Self-Compacting Concrete» [8, С.209-215].

Уникальным свойством раствора стала возможность уплотнения вследствие механической нагрузки собственного веса. В итоге, разработка материала нового типа позволила не использовать уплотнитель бетона. Промышленное применение раствора было начато в 1996 году, несколько позже были проведены полноценные испытания материала в естественных условиях. И только в 2004 году окончательно были определены особенности эксплуатации самоуплотняющихся бетонов, и была проведена их классификация.

Благодаря уникальным свойствам и преимуществам самоуплотняющийся бетон получил широкое распространение в Западной Европе. Сначала он использовался на предприятиях, производивших готовые железобетонные изделия. Затем самоуплотняющийся бетон начинает активно применяться в качестве так называемого «транспортного бетона», т.е. бетона, который доставляется, и укладывается непосредственно на строительной площадке.

Дальнейшее активное развитие и изучение самоуплотняющегося бетона происходило в Германии. Так, после тщательного изучения свойств самоуплотняющегося бетона, проводимого в Институте строительных исследований в г. Аахен (Германия) в 2000-2001 гг. под руководством профессора Вольфганга Брамесхубера по заказу фирмы «Dyckerhoff Beton GmbH», были созданы первые предпосылки для официального допуска и распространения этого материала по всей Европе. Исследования в Аахене показали, что прочность на сжатие самоуплотняющегося бетона, как правило, выше, чем обычного «вибрируемого» бетона, а прочность на раскалывание, статический модуль упругости, усадка и ползучесть – такие же. Кроме того, материал обладал прекрасными свойствами по водонепроницаемости и, таким образом, был официально допущен и рекомендован для использования при сооружении водонепроницаемых сооружений. Бетон получил название «Dyckerhoff Liquidur» и благодаря своим уникальным свойствам стал активно распространяться по строительным площадкам Европы.

Последним аргументом в пользу широкого распространения самоуплотняющегося бетона в Западной Европе было издание в Берлине Немецким комитетом по железобетону в ноябре 2003 года нормативного документа «DAfStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie)». В этом документе подробно изложены термины и связи с другими европейскими нормативными документами по строительству, а также методы диагностики самоуплотняющегося бетона. Таким образом, после выхода этого документа самоуплотняющийся бетон был официально допущен и разрешен к использованию в Европе без необходимости дополнительных разрешений, согласований и допусков [9].

В настоящее время изучение самоуплотняющегося бетона и методов его диагностики активно продолжается. Такие исследования проводятся, например, на строительном факультете Технического университета г. Берлина под руководством профессора Бернда Хиллмайера и доктора Жеральдин Бухенау. Основная часть материалов этих исследований (вместе с исследованиями других немецких ученых) опубликована в 2006 году в так называемом «Бетонном календаре» в разделе «Специальные бетоны» [4, С. 28-31].

В последнее время в европейских специализированных журналах появилось большое количество публикаций о самоуплотняющемся бетоне, что свидетельствует о большом интересе к его изучению со стороны ученых практически всех европейских стран.

Состав самоуплотняющегося бетона

Максимальная зернистость крупного заполнителя для самоуплотняющегося бетона составляет 1 мм. Подбор состава компонентов смеси для приготовления самоуплотняющегося бетона осуществляется, как правило, по японскому методу, разработанному профессором Окамурой. Концепция этой рецептуры (табл. 1) основывается на повышении доли мелких пылевидных частиц. Рецептуры самоуплотняющегося бетона по Окамуре базируются на следующих граничных условиях:

1. насыпной объем заполнителя крупной фракции должен быть не более 50% объема бетона;
2. объемная часть песка в растворе должна составлять 40%.

Таблица 1. Рецептура самоуплотняющегося бетона

Компонент	Количество, кг/куб.м
Цемент	350
Зольная пыль или молотый известняк	200
Вода	170-180
Песок	650
Мелкий щебень	950
Пластификатор	2-4
Водоцементное отношение	0,49–0,51

Свойства

Анализ последних исследований, проведенных в Японии, Германии и Швеции, дает возможность представить свойства самоуплотняющегося бетона по сравнению с обычным бетоном:

1. прочность на сжатие. При равном содержании цемента и водоцементном соотношении самоуплотняющийся бетон имеет более высокую прочность на сжатие за счет более плотного состава смеси;
2. прочность на растяжение. При аналогичных показателях прочности на сжатие самоуплотняющийся бетон имеет более высокую прочность на растяжение по сравнению с обычным;
3. связь «бетон–арматура». Поскольку самоуплотняющийся бетон обладает хорошей подвижностью и сцеплением между отдельными частицами, он обладает хорошими свойствами образования плотного соединения с арматурными стержнями. При этом расположение арматуры (верхний или нижний ряд стержней) не имеет значения;
4. модуль упругости самоуплотняющегося бетона примерно на 15% ниже, чем у обычного бетона. Это связано с повышенным содержанием мелких пылевидных частиц в бетонной смеси и пониженным содержанием крупной фракции заполнителя по сравнению с обычным бетоном.

Преимущества

Преимущества самоуплотняющегося бетона по сравнению с другими традиционными видами бетона можно условно разделить по группам и представить следующим образом [10, С. 70-74]:

1. для заказчика – высокая безопасность капиталовложений;
2. прочность на сжатие. При равном содержании цемента и водоцементном соотношении самоуплотняющийся бетон имеет более высокую прочность на сжатие за счет более плотного состава смеси;
3. прочность на растяжение. При аналогичных показателях прочности на сжатие самоуплотняющийся бетон имеет более высокую прочность на растяжение по сравнению с обычным;
4. связь «бетон–арматура». Поскольку самоуплотняющийся бетон обладает хорошей подвижностью и сцеплением между отдельными частицами, он обладает хорошими свойствами образования плотного соединения с арматурными стержнями. При этом расположение арматуры (верхний или нижний ряд стержней) не имеет значения;
5. модуль упругости самоуплотняющегося бетона примерно на 15% ниже, чем у обычного бетона. Это связано с повышенным содержанием мелких пылевидных частиц в бетонной смеси и пониженным содержанием крупной фракции заполнителя по сравнению с обычным бетоном (рис. 12).

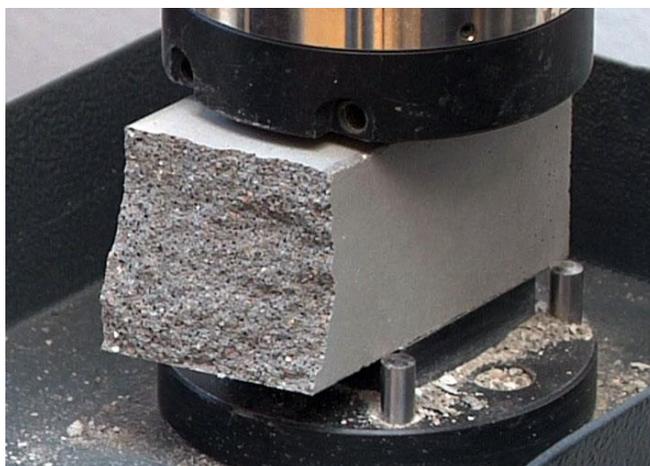


Рис. 12. Прочность бетона

Экономичность и перспективы использования

Проанализировать экономичность самоуплотняющегося бетона можно на основе имеющегося опыта его использования в Европе, в частности – в Германии. Если сравнивать цены, то самоуплотняющийся бетон вследствие своего модифицированного состава и стоимости отдельных компонентов бетонной смеси дороже обычного бетона аналогичного вида. Разница в цене составляет от 13 до 18 евро за 1 м³. Это удорожание бетона компенсируется экономией средств при его укладке и благодаря целой группе других преимуществ.

Анализ работ по бетонированию в Германии показал, что, поскольку отпадает необходимость виброуплотнения бетонной смеси на строительной площадке, экономия средств при использовании самоуплотняющегося бетона для бетонирования отдельных строительных конструкций может составлять от 3 до 6 евро за конструкцию. Кроме того, уплотнение традиционного бетона, например, при бетонировании колонн и опор, вызывает необходимость организации частых перерывов при подаче бетонной смеси, а при применении самоуплотняющегося бетона такие перерывы исключены.

На строительных площадках очень часто приходится сталкиваться с ситуациями, когда использование самоуплотняющегося бетона просто необходимо [11, С.24-29]:

1. при бетонировании на большой высоте или на воде, когда процесс уплотнения крайне затруднен, требует значительных средств, и небезопасен для персонала;
2. при бетонировании густоармированных конструкций, где обычный бетон не заполняет всю полость опалубки, что может впоследствии привести к появлению дефектов и преждевременной коррозии;
3. при бетонировании конструкций сложной геометрической формы, а также конструкций, к которым предъявляются особые требования по качеству наружной поверхности.

Если учесть еще и то, что многие фирмы уже приобрели высококачественную современную опалубку, а самоуплотняющийся бетон в точности повторяет поверхность опалубки и не имеет полостей и каверн, то использование этого бетона даст заметно более высокое качество наружной поверхности, нежели при использовании обычного бетона (т.е. во многих случаях отпадет необходимость в дальнейшей отделке: шпатлевке и т.д.), а это также ведет к существенному сокращению затрат на строительство. Кроме того, из-за отсутствия процесса вибрирования можно использовать более простую и менее массивную конструкцию опалубки. Также следует учитывать, что зарплата строителей в последнее время значительно возросла.

Поскольку необходимость в уплотнении бетонной смеси на строительной площадке за счет использования самоуплотняющегося бетона отпадет, и подавать бетон можно будет не сверху, а непосредственно в опалубку, то может быть сокращена численность персонала, занятого в бетонировании. Следовательно, удастся сэкономить средства и повысить безопасность труда при выполнении этих работ.

Литература

1. Кто изобрёл бетон. История строительства // Вестник промышленности, бизнеса и финансов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://365-tv.ru/index.php/stati/istoriya-tv/80-beton-istoricheskij-rakurs> (дата обращения 29. 11. 2017)
2. Принцип ускользящей опалубки // Московский комсомолец. – 1998. - № 58 (28.09).
3. Бродель Ф. Что такое Франция // Кн. 1. Пространство и история. - М.: Издат-во им. Сабашниковых, 1994. - 406 с.

4. Болотских О.Н. Самоуплотняющийся бетон и его диагностика // Технологии бетонов. - 2008. - № 10. - С. 28-31.
5. Александров Я.А. Выбор сырьевых материалов для производства самоуплотняющихся бетонов // Технология бетонов. - 2011. - №3-4. - С. 18-19.
6. Коровкин М.О. Исследование эффективности суперпластификатора С-3 в вяжущем низкой водопотребности // Строительство и реконструкция. - 2011. - № 2. - С. 84-88.
7. Болотских О.Н. Бетон который течет и уплотняется сам // Строительство – отраслевой журнал. – 2015. - № 9. - С. 40-42.
8. Оучи М. Самоуплотняющиеся бетоны: разработка, применение и ключевые технологии / Труды 1-ой Всероссийской конференции по бетону и железобетону «Бетон на рубеже третьего тысячелетия». - М., 2001. - С. 209-215.
9. Материалы строительной химии компании Sika. - М.: Из-во ООО «Зика», 2005. – 365 с.
10. Мозгалев К.М., Головнев С.Г. Самоуплотняющиеся бетоны: возможности применения и свойства // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. - 2011. - №4. - С. 70-74.
11. Несветаев Г.В. Технология самоуплотняющихся бетонов // Строительные материалы. - 2008. - №3. - С. 24-29

References

1. *Kto izobryl beton. Istorija stroitel'stva* [Who invented concrete? Construction history //Bulletin of industry, business and Financ]. Available at: <http://365-tv.ru/index.php/stati/istoriya-tv/80-beton-istoricheskij-rakurs>
2. *Princip uskol'zajushhej opalubki* [The principle of elusive forms. Magazine Moskovskij komsomolec]. 1998, no. 58 (28.09).
3. Brodel' F. *Chto takoe Francija. Kn. 1. Prostranstvo i istorija* [What is France? KN. 1. Space and history]. Moscow, 1994, 406 p.
4. Bolotskih O.N. *Samouplotnjajushhij beta i ego diagnostika* [Self-compacting concrete and its diagnostics. Magazine Tehnologii betonov]. 2008, no. 10, pp. 28-31.
5. Aleksandrov Ja.A. *Vybor syr'evyh materialov dlja proizvodstva samouplotnjajushhij beta* [the Choice of raw materials for the production of self-compacting concrete. Magazine Tehnologii betonov]. 2011, no. 3-4, pp. 18-19.
6. Korovkin M.O. *Issledovanie jeffektivnosti superplastifikatora S-3 v vjazhushhem nizkoj vodopotrebnosti* [study of the effectiveness of superplasticizer C-3 in the binder with low water demand. Magazine Stroitel'stvo i rekonstrukcija]. 2011, no 2, pp. 84-88.
7. Bolotskih O.N. *Beton kotoryj techet i uplotnjaetsja sam* [Concrete which flows and compacted himself. Magazine Stroitel'stvo – otraslevoj zhurnal]. 2015, no. 9, pp. 40-42.
8. Ouchi M. *Samouplotnjajushhiesja betony: razrabotka, primenenie i kljuchevye tehnologii. Trudy 1-oj Vserossijskoj konferencii po betonu i zhelezobetonu «Beton na rubezhe tret'ego tysjacheletija»* [Self-compacting concrete: development, application and key technologies,

proceedings of the first all-Russian conference on concrete and reinforced concrete "Concrete in the third Millennium"]. Moscow, 2001, pp. 209-215.

9. *Materially stroitel'noj himii kompanii Sika* [The construction chemicals company Sika]. Moscow, Zika, 2005, 365 p.
10. Mozgalev K.M., Golovnev S.G. *Samouplotnjajushhiesja betony: vozmozhnosti Primenenija i svojstva* [self-compacting concrete: possibilities of application and properties. Akademicheskij vestnik UralNIIProekt RAASN]. 2011, no. 4, pp. 70-74.
11. Nesvetaev G.V. *Tehnologija samouplotnjajushhihsja betonov* [Technology of self-compacting concrete. Magazine Stroitel'nye materialy]. 2008, no. 3, pp. 24-29.

ОБ АВТОРАХ

Соловьев Алексей Кириллович

Доктор технических наук, профессор кафедры «Проектирование зданий и сооружений», НИУ Московский государственный строительный университет, Москва, Россия
e-mail: kafedraarxitektury@yandex.ru

Соловьев Кирилл Алексеевич

Кандидат культурологии, доцент кафедры «Проектирование зданий и сооружений», НИУ Московский государственный строительный университет, Москва, Россия
e-mail: k.solovev@yandex.ru

Стекольников Николай Владимирович

Студент, кафедра «Проектирование зданий и сооружений», НИУ Московский государственный строительный университет, Москва, Россия
e-mail: v560993@yandex.ru

ABOUT THE AUTHORS

Solovyov Aleksey

Doctor of Technical Sciences, Professor of Chair «Designing of buildings and structures», Moscow State Construction University, Moscow, Russia
e-mail: kafedraarxitektury@yandex.ru

Solovyov Kirill

PhD of Culturology, Associate Professor of Department of «Design of Buildings and Structures», Moscow State Construction University, Moscow, Russia
e-mail: k.solovev@yandex.ru

Stekolnikov Nikolay

Student, Chair «Design of Buildings and Structures», Moscow State Construction University, Moscow, Russia
e-mail: v560993@yandex.ru