РАЗДЕЛ XIV. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Дузинкевич В.С., Немова Д.В.

История возникновения, состав и анализ особенностей литого бетона

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого»

(Россия, Санкт-Петербург)

doi: 10.18411/lj-12-2020-117

idsp: ljournal-12-2020-117

Аннотация

Данный метод высокопроизводителен и экономичен, что обусловлено не только высокой скоростью формирования изделий, но и сравнительно небольшим содержанием цемента в составах применяемых бетонных смесей.

Ключевые слова: литой бетон; бетонная смесь; исходные материалы; состав литого бетона; поликарбоксилат; минеральный наполнитель; заполнитель; цемент; добавки для бетона.

Abstract

This method is highly productive and economical, not only because of the high rate of formation of products, but a relatively low content of cement compositions used in concrete mixes.

Keywords: cast concrete; concrete mix; source materials; cast concrete composition; polycarboxylate; mineral filler; aggregate; cement; additives for concrete.

Литой бетон – это бетонная смесь, которая без воздействия внешних сил уплотнения (вибрирования) и самостоятельно под воздействием собственного веса течет, освобождается от воздуха и заполняет пространство между опалубкой сооружения и арматурными стержнями. В немецком языке литой бетон получил сокращённое название SVB (selbstverdichtender Beton), в английском – SCC (self-compacting concrete), во французском – BAP (Béton autoplaçant).

Рисунок 1.1, 1.2 - Литая бетонная смесь

Начиная с 1980-х годов, проблема долговечности и прочности бетонных конструкций была главной для японских ученых. Для создания прочных бетонных конструкций требуется грамотное выполнение процесса уплотнения бетонных смесей квалифицированным персоналом. Однако, постепенное снижение количества квалифицированных рабочих в строительной индустрии Японии привело к такому же снижению качества выполненных строительных конструкций. Единственным

решением для достижения долговечных и прочных бетонных конструкций независимо от качества строительных работ являлось применение литого бетона

Необходимость создания такого типа бетона была предложена профессором Х. Окамурой в 1986 году. Работы по разработке литого бетона, включая фундаментальное исследование обрабатываемости бетона были проведены профессорами К. Маекавой, К. Озавой из Токийского университета в конце 1980-х годов. В своих работах им удалось придумать новый тип бетона, который имел высокую пластичность и низкое содержание воды.

Прототип литого бетона впервые был представлен в 1988 году. Такой бетон получил название “High Performance Concrete”. Почти то же самое время бетон “High Performance Concrete” был определен как бетон с высокой прочностью из-за низкого водоцементного соотношения профессором Отсиным в 1989 году. С тех пор, термин был “High Performance Concrete” используется во всем мире для обозначения высокой прочности бетона. Однако, совсем недавно термин бетона был изменен на “Self-compacting High Performance Concrete”.

Благодаря особенностям этого бетона он вызвал интерес в Западной Европе. В начале 2000-х годов по всей Европе стали появляться первые предпосылки для допуска и распространения литого бетона. Так в институте города Аахен (Германия) в 2000-х годах профессор В.Брамесхубер изучал свойства литого бетона. Проведенные им исследования показали какими свойствами обладал литой бетон по сравнению с обычным бетоном. Материал получил название «Dyckerhoff Liquidur» и стал активно распространяться по строительным площадкам Европы вследствие своих уникальных свойств.

В 2002 году компания EFNARC опубликовала документ “Specification & Guidelines for Self-Compacting concrete” – (с англ. Спецификация и Руководство по литому бетону), который содержал в себе всю необходимую информацию о бетоне для производителей, строителей и проектировщиков.

В 2004 году пять европейских организаций: BIBM, CEMBUREAU, ERMCO, EFCA, EFNARC создали ученую группу, чтобы оценить накопленный опыт применения литого бетона и подготовить новый документ, который охватывал бы все аспекты литого бетона. В этом документе “The European Guidelines for Self Compacting Concrete” (с англ. Европейское руководство по литому бетону) были приведены согласованные спецификации бетонных смесей для производства ЛБ, методы их испытания, информацию о материалах, стандартах для ЛБ и т.д. Так на рисунке 2.1. приведена европейская классификация бетонных смесей для производства литых бетонов.

Название бетонной смеси	Обозначение	Чем характеризуется	Значение величины
Высокоподвижная	SF1	Расплыв конуса	550 – 650 мм
	SF2		660 – 750 мм
	SF3		760 – 850 мм
Вязкая	VS1/VF1	Вязкость	8 сек.
	VS2/VF2		9 – 25 сек.
Легкоформируемая	PA1	-	Зависит от частоты армирования сооружения
	PA2	-	
Устойчивая к расслоению	SR1	Расплаиваемость	< 20%
	SR2		< 15%

Рисунок 2.1 - Классификация бетонных смесей

В настоящее время изучение литого бетона и методов его диагностики активно продолжается. Исследования проводятся в Техническом Университете города Берлин на строительном факультете под руководством профессора Б.Хиллемайера и доктора Ж.Бухенау.

В России же повсеместное применение литого бетона только получает своё развитие, однако на протяжении последнего десятилетия рядом строительных организаций предприняты успешные попытки применения литого бетона в гражданском строительстве. Но в виду отсутствия нормативной базы по литым бетонам приходится пользоваться нормативными документами иностранного происхождения.

Состав литого бетона

Материалы, которые используются для приготовления литых бетонов, не имеют каких-либо отличий от материалов, используемых в приготовлении традиционных бетонов. Отличается только их соотношение, а также использование специальных эффективных добавок. На рисунке 3.1 изображена схема подбора состава литого бетона.

Рисунок 3.1 - Схема подбора состава литой смеси

Основные исходные материалы для подбора состава СУБ:

- цемент;
- крупный и мелкий заполнитель;
- минеральный наполнитель;
- добавки;

Рассмотрим каждый компонент в отдельности и проследим, как они влияют на бетонную смесь в целом.

Цемент. Как и в традиционном бетоне основным вяжущим в литых бетонах является – портландцемент. Это вяжущее имеет сложную минеральную структуру,

состоящую из окислов кальция, кремния, алюминия и железа. Иногда используется сульфатостойкий цемент. Следует также отметить, что выбор цемента зависит в первую очередь от назначения конструкции, которое должно быть указано в техническом задании от заказчика.

Заполнитель. Для получения СУБ постоянного качества следует особенно тщательно и непрерывно контролировать и учитывать гранулометрический состав крупного и мелкого заполнителей. В отличие от обычного бетона, СУБ более чувствителен к колебаниям рецептуры, самое большое влияние на него оказывает содержание влаги, как в окружающей среде, так и заполнителей. Крупный и мелкий заполнитель следует хранить в крытых складах, что позволит контролировать влажность и как следствие – водоцементное соотношение. Также при проектировании состава СУБ нужно учитывать и форму заполнителя. Окатанная форма заполнителя позволяет уменьшить вероятность упорядоченности заполнителя и тем самым увеличивается распыл конуса.

В качестве крупного заполнителя рекомендуется применять щебень фракций 5-20, 5-10 из метаморфических горных пород. Крупность заполнителя выбирается из условий: шаг арматуры, размещение арматуры, геометрические формы конструкции. Мелкий заполнитель назначают часто в виде кварцевого песка с модулем крупности 1,7 – 2,5.

Минеральный наполнитель. В составе бетонов минеральный наполнитель (крупность <0,125 мм) может проявлять себя как инертный материал (известняк, доломит, пылевидный кварц и др.) либо как компонент, обладающий скрытой гидравлической активностью (туф, трепел, опока, микрокремнезем и др.). На рисунке 4 приведена классификация минеральных наполнителей, а на рисунке 4.1 свойства минеральных наполнителей.

I	II	
Инертные	Пуццолановые	Гидравлические
Известняк	Зола-унос	Доменный шлак
Доломит	Микрокремнезем	-
Пылевидный кварц	-	-

Рисунок 4 - Классификация минеральных наполнителей

Вид минерального наполнителя	Оказываемый эффект
Известняк, доломит	Увеличивает связность смеси, но в свою очередь увеличивает вязкость теста и как следствие – уменьшение распыла.
Зола-унос	
Микрокремнезем	Увеличивает связность и устойчивость смеси к расслоению, но сокращается срок схватывания смеси. Совместно с микрокремнеземом следует применять эффективные добавки
Доменный шлак	Снижает расход цемента, но сокращается срок схватывания смеси.

Рисунок 4.1 - Свойства минеральных наполнителей

Добавки. Для регулирования свойств литой бетонной смеси наибольшее применение нашли химические пластифицирующие добавки, а именно, гиперпластификаторы на основе эфиров поликарбоксилата. Эти добавки обеспечивают стабильность и жизнеспособность бетонной смеси литых бетонов.

Но у добавок на основе поликарбоксилата есть и свои недостатки:

- проблема совместимости с видом цемента. Поликарбоксилат несовместим с химическим составом портландцемента. Именно поэтому заводам- производителям приходится заменять портландцемент на другой вид цемента, что может вести за собой срывы сроков в поставке сырья хорошего качества.
- поликарбоксилат чувствителен к низким температурам, что особенно актуально для климатических условий в России.
- лишнее вовлечение воздуха, что может влиять на прочность бетона.
- особые условия хранения – нельзя допускать высокую влажность и температуру.
- высокая стоимость добавок на основе поликарбоксилата.

Добавки, включая воздухововлекающие, ускоряющие и замедляющие твердение бетона, могут использоваться также, как и в обычном бетоне, с учетом рекомендаций производителя добавок по их применению и способу введения.

Свойства литого бетона во многом совпадают со свойствами обычного бетона. Путём комбинирования компонентов литой бетон может быть запроектирован как бетон с обычной прочностью, так и как высокопрочный бетон.

— Прочность на сжатие

При аналогичном содержании цемента и водоцементном соотношении литой бетон обладает более высокой прочностью на сжатие за счёт более плотного состава смеси.

— Связь бетон - арматура

Литой бетон обладает хорошими свойствами образования плотного соединения с арматурными стержнями за счет своей подвижности и сцепления между частицами.

— Модуль упругости

Модуль упругости литого бетона примерно на 15% ниже, чем у обычного бетона. Это связано с повышенным содержанием мелких пылевидных частиц в бетонной смеси.

— Усадка

Усадка бетона всегда связана с количеством цементного теста в бетоне. Так как цементное тесто у литого бетона немного отличается от обычного, то оба бетона имеют примерно одинаковую усадку.

Особенности литого бетона

- Улучшенная микроструктура литого бетона – меньше пористости и как следствие меньше кислородо- и водопроницаемости.
- Возможность полной механизации работ – снижение трудо- и энергозатрат.
- Обеспечение высокого класса бетона (>B50), плотности, водонепроницаемости (>W12).
- Низкое содержание цемента – низкое тепловыделение;
- Возможность производства работ укрупненными блоками;
- Возможность укладки бетонной смеси в высотные конструкции;
- Качество получаемой поверхности - поверхность литого бетона полностью повторяет поверхность опалубки. Таким образом, если использовать современные виды опалубки можно сразу получать идеально гладкую и ровную (сплошную) поверхность.

У технологии литого бетона есть и свои недостатки. Применение ЛБ должно быть экономически обосновано и оправдано. Так изделия из ЛБ имеют высокий класс прочности, следовательно, использование его при возведении обычных видов конструкций является экономически невыгодным. Также при применении технологии литого бетона должны предъявляться особые требования к опалубке – это герметичность и прочность, необходимые для выдержки гидростатического давления большого объема ЛБ. Для получения, так называемого архитектурного бетона необходимы дорогостоящие разделительные средства (смазки) для того, чтобы обеспечить высокое качество поверхности. Еще одним недостатком технологии литого бетона является невозможность формирования на строительной площадке сооружений, имеющих большой уклон. Это обусловлено особенностью ЛБ выравняться под действием собственного веса.

Также следует отметить преимущества применения литого бетона для каждого участника такого процесса как строительство:

- Получение конструкций высокого качества за счет хороших показателей удобоукладываемости смеси и прочностных характеристик бетона.
- Экономическая эффективность проекта вследствие уменьшения сроков строительства.
- Применение сложных архитектурных геометрических форм для того, чтобы разнообразить дизайн самого объекта.
- Уменьшение массивности монолитных конструкций.
- Возможность применения литого бетона при проектировании малых архитектурных форм.
- Снижение трудо- и энергозатрат строительства.

1. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting Concrete // Advanced Concrete Technology. 2003. No 1. P. 5-15.
2. Kitamura H., Nishizaki T., Ito, H., Chikamatsu R., Kamada F., Okudate M. Construction of prestressed concrete outer tank for LNG storage using high-strength self-compacting concrete // Proceedings of the International Workshop on Self-Compacting Concrete. 1999. Pp. 262-291.
3. The European guidelines for self-compacting concrete: specification, production and use. UK, 2005. 21 p
4. Комаринский М.В., Смирнов С.И., Бурцева Д.Е. Литые и самоуплотняющиеся бетонные смеси // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. No 11. С. 106-110
5. Ватин Н.И., Барабанщиков Ю.Г., Комаринский М.В., Смирнов С.И. Модификация литой бетонной смеси воздухововлекающей добавкой // Инженерно-строительный журнал. 2015. No 4 (56). С. 3-10.
6. Barabanshchikov Yu., Komarinskiy M. Effect of air-entraining agent lhd on the technological properties of concrete mix containing superplasticizer s-3 // Applied Mechanics and Materials. 2015. T. 725-726. С. 419-424.
7. Барабанщиков Ю.Г., Комаринский М.В. Суперпластификатор С-3 и его влияние на технологические свойства бетонных смесей // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. No 6 (21). С. 58-69.
8. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. «Бетоны нового поколения с высокими эксплуатационными свойствами» // Материалы Международной конференции «Долговечность и защита конструкций от коррозии», Москва, 25-27 мая 1999, С. 191-196.
9. С.С. Каприелов, В.И. Травуш, Н.И. Карпенко, А.В. Шейнфельд, Г.С. Кардумян, Ю.А. Киселева, О.В. Пригоженко. Модифицированные бетоны нового поколения в сооружениях ММДЦ «Москва Сити» // Строительные материалы. No10. С. 13-18.
10. Телешев В.И., Ватин Н.И., Марчук А.Н., Комаринский М.В. Производство гидротехнических работ. Учебник для вузов: в двух частях // Москва, 2012. Том Часть 1 Общие вопросы строительства. Земляные и бетонные работы. 531 с.