

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>

Russian journal of transport engineering

2020, №2, Том 7 / 2020, No 2, Vol 7 <https://t-s.today/issue-2-2020.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/22SATS220.pdf>

DOI: 10.15862/22SATS220 (<http://dx.doi.org/10.15862/22SATS220>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Варакин М.Ю., Овчинников И.Г. Особенности применения современных видов бетона в транспортном строительстве // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2020 №2, <https://t-s.today/PDF/22SATS220.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/22SATS220

For citation:

Varakin M.Yu., Ovchinnikov I.G. (2020). Features of application of modern types of concrete in transport construction. *Russian journal of transport engineering*, [online] 2(7). Available at: <https://t-s.today/PDF/22SATS220.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/22SATS220

УДК 691.3

ГРНТИ 67.09.33

Варакин Максим Юрьевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Магистрант базовой кафедры АО «Мостострой-11»
E-mail: Varakin_maksim@mail.ru

Овчинников Игорь Георгиевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия
Профессор
Доктор технических наук
E-mail: bridgesar@mail.ru

Особенности применения современных видов бетона в транспортном строительстве

Аннотация. В работе рассмотрена проблема применения современных видов бетона, в частности, самоуплотняющегося бетона, фибробетона и сверхвысокопрочного бетона.

Затронуты вопросы важности анализа возможности применения инновационных видов бетона, с целью повышения качества получаемых конструкций, увеличения их долговечности, снижения трудозатрат, сокращения сроков производства работ. Описан принцип работы самоуплотняющихся бетонов и бетонов с использованием различных фибр вместо обычного армирования. Показаны их прочностные характеристики, описан принцип работы, особенности его использования, а также способы изготовления. Выделены основные типы фибр, как металлических, так и неметаллических, описаны их основные черты. Также ведется речь о важности соблюдения технологии укладки бетонных смесей и порядок ухода за ними. Приведены примеры возможного и фактического использования их в транспортном строительстве и не только.

Рассмотрен опыт использования самоуплотняющихся бетонов и фибробетонов в тоннелестроении, мостостроении. Затронуты вопросы их разработки и особенностей их применения. Отмечена важность их использования с экологической точки зрения (использование переработанных материалов).

Проведено сравнение основных механических характеристик нескольких видов бетона (Сверхвысокопрочный бетон, высокопрочный бетон, обычный бетон). Рассмотрен принцип работы на растяжение сверхвысокопрочных бетонов в сравнении с другими материалами.

На примере трудов авторов в работе подчеркнута важность дальнейшего исследования этих материалов, разработка нормативной документации для дальнейшего внедрения в различные сферы строительства, подчеркнута важность разработки новых типов железобетонных конструкций с новыми формами сечений, что возможно при правильном подходе и использовании современных материалов.

Ключевые слова: современные виды бетона; высокопрочный бетон; фибробетон; самоуплотняющийся бетон; сверхвысокопрочный бетон; стоимость бетонов; долговечность; снижение трудозатрат

Введение

На сегодняшний день строительную индустрию нельзя представить без бетонной продукции. С каждым годом объем используемого бетона в строительстве растет все больше и больше, при этом статистика показывает, что строительный процесс по выполнению бетонных работ является самым трудоемким. В связи с этим активно ведутся разработки по повышению эффективности использования бетонных смесей, увеличению срока службы бетона, а также уменьшению трудоемкости производства работ путем разработки различных его модификаций, введением разнообразных добавок.

Важно подчеркнуть, что современные модификаторы для бетонов, армирующие волокна, высокоэффективные вяжущие наполнители и активные минеральные добавки, противоморозные добавки в бетон, позволяют получать новые инновационные строительные композиты с уникальными свойствами. Данные разработки ведутся многими научными коллективами и описаны в различных статьях, таких как [1–3]. Поэтому необходимо разносторонне оценивать возможности использования того или иного вида бетона на конкретном объекте строительства, в частности важна оценка всех его характеристик.

1. Состояние проблемы

Максимально важно отметить то, что при таком обильном количестве различных модификаций бетона, зачастую в строительстве не уделяют должного внимания возможностям их использования. Актуальность данной проблемы также отмечена в статьях [4–6].

Каждый вид модификатора особенный по-своему, имеет свои плюсы и минусы, по-разному взаимодействует с другими добавками. Совершенствование технологии производства сборного и монолитного железобетона на современном этапе тесно связано с их применением, поэтому особенно важно правильно подбирать составы бетонных смесей индивидуально для каждого вида конструкций.

Безусловно, нельзя забывать и про стоимость использования тех или иных видов добавок, зачастую это значительно увеличивает цену конечного материала, но в данной ситуации проектировщик должен трезво взвешивать все те плюсы, которые он получит при улучшении химического состава бетонной смеси. Если сравнивать обычные бетоны средней прочности и высокопрочные бетоны, можно отметить не только увеличение прочности, но и изменение других важных характеристик, таких как долговечность, трещиностойкость, а также меньшее время на производство работ, именно поэтому во многих своих статьях, например, в [7] В.И. Калашников, уделивший немалое внимание изучению высокопрочных бетонов,

затрагивает вышеупомянутые особенности. Значит ли это, что такой бетон подходит везде – вовсе нет.

Уже очень давно были предложены различные модификации бетона (фибробетон, самоуплотняющийся бетон, гидробетон и др.) и все они чаще и чаще встречаются в современном строительстве. Многие статьи [8–11] основаны на рассмотрении их особенностей, подчеркивают важность их использования и описывают их работу. Авторами статей [12–14] рассмотрены деформативные свойства различных инновационных видов бетона, выявлены свойства, которые показывают возможность уменьшения армирования за счет использования высокопрочных видов бетона.

2. Нужно разносторонне оценивать возможность использования определенного вида бетона

Одним из важных свойств бетонной смеси является удобоукладываемость – способность бетонной смеси легко и в полном объеме заполнять форму, способность не расслаиваться на фракции при хранении (перевозке). Так в густоармированных участках железобетонных конструкций необходимо обеспечить попадание бетонной смеси во все участки, что зачастую является весьма сложной задачей. Если в обычных конструкциях есть возможность обойтись обычным вибрированием, то в сложно армированных конструкциях может быть очень сложно это сделать, что приводит к значительному увеличению трудозатрат и увеличивает возможность появления пустот в конструкции, что является неприемлемым.

Лучшим решением данной проблемы может стать использование самоуплотняющегося бетона (по международной терминологии – Self-Compacting Concrete [SCC]) – материала, который уплотняется под тяжестью своего веса (рис. 1), при этом полностью заполняет опалубку даже в местах, где очень густо уложена арматура. Именно благодаря японскому профессору Хиро Окамура в строительной сфере появился такой продукт, как самоуплотняющийся бетон. Заменив обычный бетон самоуплотняющимся, мы избавляемся от необходимости привлечения дополнительных видов работ по уплотнению бетона, а также можем обезопасить себя от дополнительного увеличения сроков строительства из-за ремонтных работ, а в худшем случае, полного демонтажа и повторного возведения конструкции.

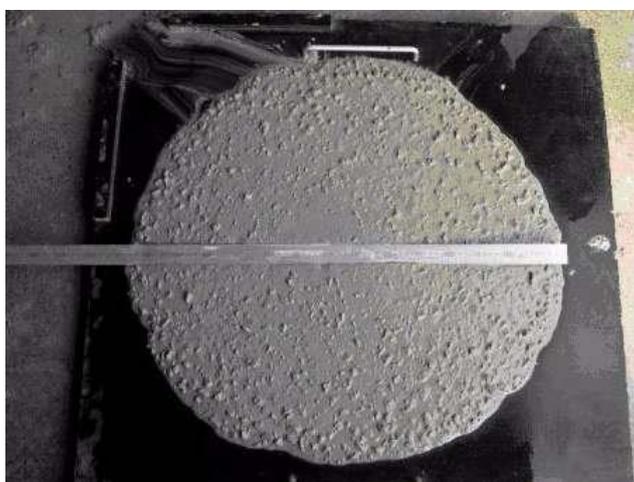


Рисунок 1. Определение расплыва (подвижности самоуплотняющейся бетонной смеси) <https://1beton.info/vidy/samouplotnajushiy/samouplotnyayushhijsya-beton>

Акцентируя внимание на подвижности самоуплотняющейся бетонной смеси, важно отметить прочностные характеристики получаемого бетона. В отличие от обычных бетонов, в

данном материале значительно выше предельная прочность на сжатие и растяжение, что позволяет увеличить трещиностойкость, а также срок службы конструкции в целом. Также важно отметить повышенную плотность, что при одинаковом объеме приводит к повышению массы сооружения. Тем не менее, это позволяет создавать конструкции с меньшим сечением, благо прочность материала это позволяет и придает этому материалу еще одну положительную черту.

Кроме всего вышесказанного в своей статье [15] Zoran Jure Grdic подчеркивает такие экологические преимущества самоуплотняющейся бетонной смеси, как отсутствие шума и вибраций при укладке, так и возможность вторичного использования грубого заполнителя, полученного из разрушенных сооружений.

Исследовав состав самоуплотняющейся бетонной смеси, можно говорить о них, как об усовершенствованной стадии высококачественных бетонов (High-Performance concrete – HPC). Они в свою очередь вместе с высокопрочными бетонами (High Strength concrete – HSC) были получены путем совместного применения суперпластификатора и тонкого наполнителя (микрокремнезема и другие) обо всем этом упоминается в статье Horst G. and Joerg R. [16].

Эффект самоуплотнения достигается за счет снижения контактных взаимодействий между зернами крупного и мелкого заполнителя, что обеспечивается высоким объемным содержанием цементного теста. Однако повышение расхода цемента нежелательно не только по экономическим причинам. Бетоны с высоким содержанием вяжущего характеризуются высокими значениями деформаций усадки и ползучести, кроме того, повышенным тепловыделением при твердении, что может вызвать возникновение дефектов структуры бетона. Получение бетонных смесей с большим содержанием цементного теста при умеренном расходе цемента возможно при замещении части вяжущего высокодисперсными минеральными материалами – микрокремнеземом, золой-уносом, метакаолином, каменной мукой или другими дисперсными минеральными промышленными отходами. Замена части цемента позволяет получить текучее цементное тесто без седиментации, водоотделения и расслоения литой бетонной смеси.

В транспортном строительстве самоуплотняющийся бетон начали применять в 1991 году. Впервые его применили при сооружении железобетонных пилонов вантового моста. Тогда положительные результаты испытания самоуплотняющегося бетона способствовали увеличению объемов его применения. Тем не менее, в России возможность применения такого вида бетона только получает свое развитие, но на протяжении последних десятилетий многими строительными организациями уже предприняты успешные попытки его использования. Сложность его применения заключалась прежде всего в отсутствии необходимых исследований, направленных на обеспечение повышенных требований к качеству, долговечности и надежности создаваемых конструкций с учетом климатического фактора. Но в 2010 году ОАО ЦНИИС по заказу ОАО «Мостотрест» разработал документ по самоуплотняющимся бетонным смесям для бетонов мостовых и тоннельных конструкций классов В30, В35, В40, В45, В50, приготовленных с использованием добавок на основе поликарбоксилатов. В этом документе даны четкие технические требования по всем технологическим параметрам, по подбору составов, приготовлению, правилам приёмки, методам контроля и испытаний, транспортировке и хранению, а также указания по применению самоуплотняющихся бетонных смесей, которые в настоящее время уже нашли достаточно широкое применение при строительстве ряда крупных транспортных объектов на территории Москвы, Санкт-Петербурга, Сочи и других российских городов. Действие данных технических условий распространяется на самоуплотняющиеся бетонные смеси, приготовленные на основе наиболее часто употребляемых в транспортном строительстве добавок поликарбоксилатов, поставляемых ООО «Sika» и ООО «Басф». Строительные системы». Эти добавки прошли

специальный комплекс испытаний всех свойств, присущих данному типу бетона, по завершению которых были получены положительные результаты.

Рассмотрим некоторые примеры использования самоуплотняющихся бетонных смесей во время строительства различных транспортных объектов. При строительстве вестибюлей и перрона станции метро «Горьковская» Нижегородского метрополитена впервые в России при возведении подземного сооружения тоннельного типа был применен самоуплотняющийся бетон, который в свою очередь свел проблемы возведения сложных и объемных конструкций к минимуму. Отметим, что полностью отказаться от вибрируемого бетона производителям работ не удалось по причине особенностей конструкций самого объекта и принципа работы самоуплотняющейся смеси. Тем не менее, возведение таких элементов как стены, колонны, перекрытия перрона и вестибюлей было произведено с его использованием [17].

Другой пример использования самоуплотняющегося бетона: строительство мостового перехода через пролив Босфор Восточный в г. Владивосток на остров Русский. А именно, сооружение ростверка пилона №7. Для его бетонирования потребовалось 8 автобетононасосов, каждый обслуживал по 4 бетонолитных трубы (рис. 2) с производительностью 20 м³/час. Бетон при этом подавался через 31 бетонолитную трубу. В ходе проектирования были проведены колоссальные работы по подбору состава смеси. Процесс ухода за бетоном включал в себя устройство тепляка с минераловатной теплоизоляцией и установкой тензодатчиков для контроля напряженно-деформированного состояния. В итоге, по результатам испытаний были достигнуты необходимые значения прочности конструкции, сплошность была полностью обеспечена. При этом было отмечено значительное снижение трудозатрат, что в свою очередь позволило распределить людей на выполнение других задачи, тем самым ускорив темпы строительства.

Во все времена использования бетона в строительстве, несмотря на высокие прочностные характеристики и отличные показатели долговечности, у них всегда был один большой недостаток, а именно факт того, что бетон хорошо работает на сжатие, но плохо на растяжение. Как было сказано ранее, применение высокопрочных бетонов, в том числе самоуплотняющихся, увеличивает прочность на растяжение и позволяет уменьшить процент армирования, не теряя при этом такое важное качество, как трещиностойкость конструкции.

Но рассмотрим еще один вид бетона, который ориентирован на то, чтобы снизить ударную вязкость бетона и повысить его трещиностойкость.



Рисунок 2. Бетонолитная труба (флейта) <http://www.myshared.ru/slide/477284/>

Фибробетон – инновационный строительный материал, особенностью которого является содержание в составе специальных армирующих волокон. Эти волокна могут быть изготовлены из стали, бетон такого состава называют сталефибробетоном, такая смесь активно используется, но из-за высокого расхода фибр на кубометр бетона приходится уходить от его применения. Полипропиленовая фибра также используется в составе фибробетона, которому необходимо получить повышенную эластичность, трещиностойкость и прочность. Эти два вида фибробетона набирают большую популярность ввиду своей невысокой стоимости в сравнении с базальтовым фибробетоном, который, в свою очередь, используется в строительстве из-за высокой объемной прочности и при этом сам базальт легче вводится в бетонную смесь. Также важно отметить стеклофибробетон, стоимость которого весьма высока, потому что используемое в его составе стекловолокно имеет высокую цену. При этом данный материал дает возможность архитекторам воплотить любой замысел, так как введенное стекловолокно придает бетону гибкость и сопротивляемость растяжению.

Свойства таких бетонов в первую очередь зависят от используемых фибр в составе бетонной смеси. Тем не менее сама структура фибробетона (рис. 3) одинакова. Различаются лишь технологические характеристики и стоимость в зависимости от вида используемых фибр.

Технология изготовления фибробетона кардинально зависит от выбранного состава и правильного сочетания исходных материалов. Крайне важно обеспечить равномерное распределение волокон в бетонной смеси, а также соблюсти правильную ориентацию в бетонной матрице. Из-за сложности обеспечения всех необходимых требований и удорожания материала, проектировщики не всегда считают уместным его применение. Но, несмотря на эти проблемы, фибробетон уже сейчас нашел свое применение в изготовлении плит проезжей части или же в использовании его в качестве гидроизоляции, при устройстве выравнивающего слоя из фибробетона.



Рисунок 3. Структура фибробетона <https://kladembeton.ru/vidy/drugie/fibrobeton.html>

Стоит отметить, что на основании результатов анализа развития и совершенствования бетонов и выполняемых из них конструкций, фибробетон можно выделить, как один из перспективных строительных материалов 21 века. Некрасов В.П. был первым в мире российским ученым, получившим патент на фибробетонную конструкцию. Произошло это в 1909 году, при этом первое практическое применение в России можно датировать 1976 годом, при строительстве взлетно-посадочной полосы [18].

Также немаловажна возможность применения фибробетонных конструкций в условиях низких температур, по причине наличия их повышенной морозостойкости. Из-за особенности состава (вовлечение фибр) в таком бетоне присутствуют полости для воздуха, а значит такие смеси по долговечности не будут уступать и бетону с воздухововлекающими добавками.

Рассмотрим несколько примеров применения бетонов с использованием различного рода фибр. Прежде всего, важно акцентировать внимание на возможности использования таких бетонов в сейсмоопасных районах строительства. Благодаря наличию фибры в составе конструкции, она лучше воспринимает воздействие динамических нагрузок, а это является очень важной характеристикой для сейсмоопасных районов. При этом нельзя забывать, что армирование фиброй не только повышает показатели бетонной смеси, но и снижает затраты на его производство, трудоемкость и тому подобное. Однако себестоимость такого бетона весьма высока, но при этом нельзя забывать, что эта цена компенсируется продолжительным сроком службы и повышенными показателями получаемых конструкций.

В ходе исследований было выявлено, что фибробетон незаменим в строительстве гидротехнических сооружений, где важную роль играет изгибающаяся прочность бетона. Так в статье [19] рассмотрено три варианта использования фибробетона при строительстве Саяно-Шушенской Гидроэлектростанции. Путем расчетов при использовании программного комплекса SCAD Office 21.1, был выбран самый оптимальный вариант, который заключался в устройстве облицовки фибробетонным слоем толщиной 10 метров по всему периметру сечения плотины.

Еще один вид бетона, который важно отметить – сверхвысокопрочный бетон УНРС (Ultra-high performance concrete). УНРС, быстро развивающийся в последние годы, считается новым типом цементного композитного материала с прочностью на сжатие более 150 МПа. Он обладает исключительными механическими свойствами и высокой долговечностью благодаря использованию цементирующей матрицы методом максимальной удельной массы. В сравнении с обычным бетоном, помимо повышенной прочности он обладает увеличенным показателем вязкости, что в свою очередь дает ему преимущество в условиях перегрузки или землетрясения [20].

Высокая долговечность УНРС обеспечивается благодаря плотной структуре (рис. 4), которая приводит к отсутствию углерода, низкому количеству содержащихся хлоридов, и стремящейся к нулю, проницаемости сульфатов. Таким образом использование таких материалов приводит к увеличению срока службы конструкций транспортных сооружений, а также снижению необходимости их обслуживания. При этом стоит заметить, что наличие частиц негидратированного цемента, присутствующих в УНРС, наделяет цемент функцией самовосстановления в случае растрескивания [20–21].

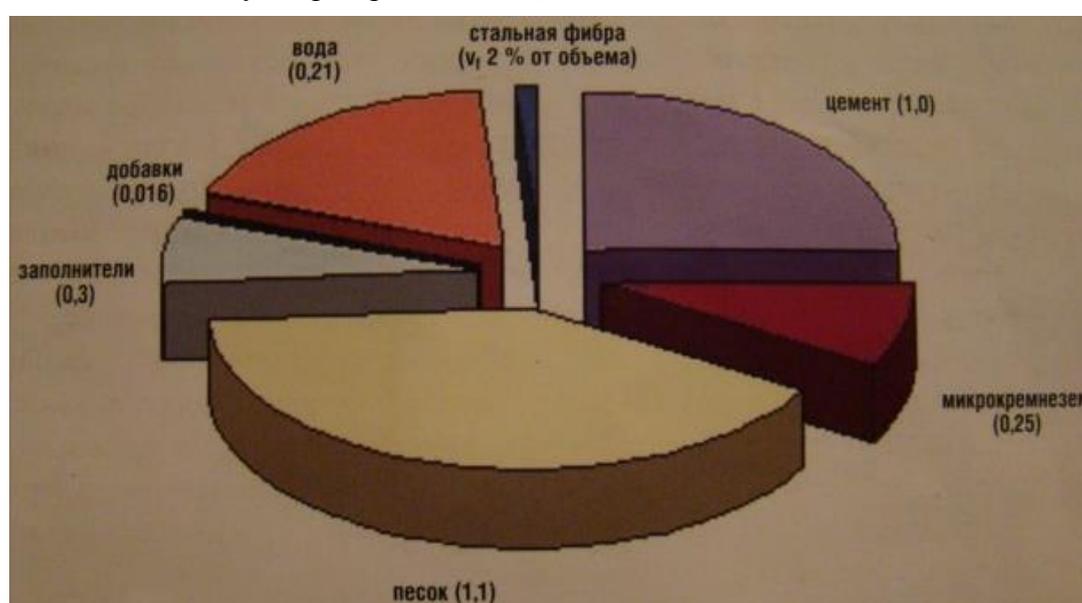


Рисунок 4. Состав бетона УНРС и процентное соотношение компонентов

Проблема использования этого вида бетона заключается также в отсутствии точных норм по проектированию/строительству, например, из бетонов В120/М1500. Также немаловажным фактором является стоимость такого материала, которая в свою очередь значительно выше как обычного, так и высокопрочного бетона. При этом достаточно сложно соотнести все критерии воедино и сделать окончательный вывод по поводу необходимости его использования. Однозначно сказать можно лишь одно – благодаря УНРС архитекторы могут реализовывать свои дизайнерские задумки, так как масса у таких конструкций меньше, что дает возможность уменьшить нагрузки от собственного веса, которая в свою очередь позволяет уменьшать сечения конструкций, а также увеличивать пролеты.

В таблице 1 показано сравнение основных механических свойств УНРС, НРС (высокопрочный бетон), NC (обычный бетон).

По таблице можно сделать вывод, что в отношении прочности на сжатие и разрыв сверхвысокопрочный бетон имеет огромное преимущество перед высокопрочным и обычным бетоном, их значения примерно в 5–10 раз выше, чем у обычного бетона.

Это вовсе не значит, что получится уменьшить сечения в такое же количество раз, но расход материала снизится точно.

Таблица 1

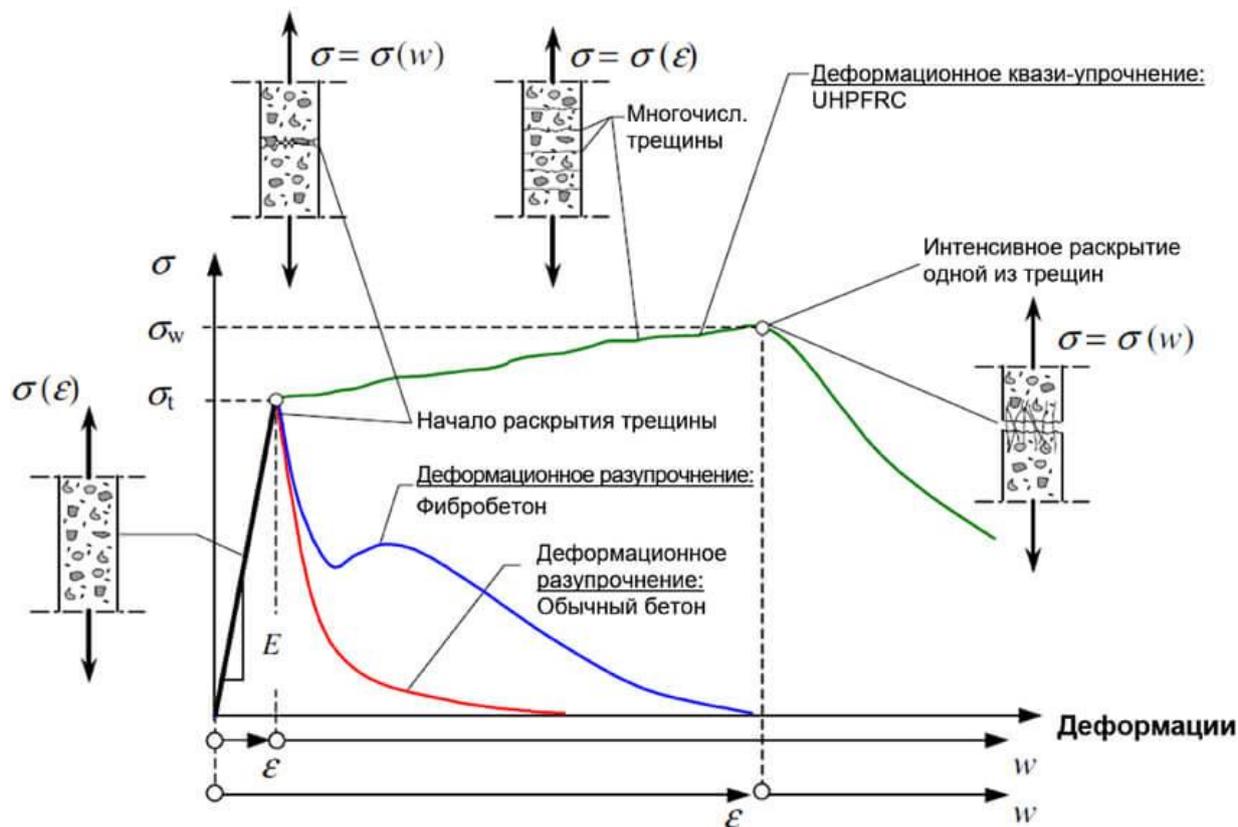
Сравнение механических свойств УНРС, НРС, NC

Характеристика	УНРС	НРС	NC
Прочность на сжатие (МПа)	170–230	60–100	20–50
Прочность на разрыв (МПа)	30–60	6–10	2–5
Модуль упругости (МПа)	40–60	30–40	30

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/189/2/022038/pdf>

В конечном итоге, отличительной особенностью УНРС, помимо его высокой прочности на сжатие, являются высокие прочностные показатели на растяжение. В каком-то смысле сверхвысокопрочный бетон можно назвать инновационным, он включает в себя свойства самоуплотняющегося бетона и в некотором смысле является разновидностью фибробетонов, описанных выше. Тем не менее, по своим характеристикам он выигрывает у своих аналогов. Рассмотрим одну из его отличительных особенностей, а именно, работу на растяжение после начала трещинообразования (рис. 5).

Как видно на рисунке, обычный бетон после начала образования трещин подвергается хрупкому разрушению. Фибробетон с низким процентом армирования (не превышающий 1,0–1,5 %) в отличие от обычного обладает возможностью восприятия некоторых растягивающих напряжений и после трещинообразования. Это говорит о том, что введенная фибра в некоторой степени снижает хрупкость во время разрушения образцов и обеспечивает возможность малых деформаций без разрушения. Но все же величины этого сопротивления весьма малы, чего нельзя сказать про бетоны, которым соответствует третья зависимость – UHPFRC (ultra high performance fiber reinforced concrete). Такой материал приводит к выраженному пластическому характеру работы на растяжение с момента образования трещин. При этом важно отметить возможность появления так называемого квази-упрочнения, характерный тем, что после начала трещинообразования следует стадия пластической работы материала на растяжение, при этом деформации не концентрируются в первой трещине и материал сохраняет способность распределять их по всей длине. Благодаря этому в расчете конструкций работа такого материала на растяжение уже не будет приниматься равной нулю, что приводит к расчету подобному обычному железобетону со стержневым армированием.



σ – напряжения; ε и w – соответственно, относительные и абсолютные (раскрытие трещин) деформации; E – модуль упругости

Рисунок 5. Схематические зависимости напряжения – деформации для бетона без армирования, фибробетона и UHPFRC при одноосном растяжении:

<https://lafargeholcimrus.ru/advises/article/o-primenenii-sverkhvysokoprochnogo-fibrobetona-ductal-v-rossiyskom-mostostroenii/>

В России этот материал еще не нашел широкого применения, по причине отсутствия нормативных документов и высокой стоимости такого материала, тем не менее за рубежом есть много примеров применения, как в качестве материала для несущих конструкций и не только (рис. 5, 6), так и для проведения ремонтных работ (рис. 7).



Рисунок 6. Блок пешеходного перехода через железнодорожные пути в Le Cannet-des-Maures (Франция) <https://lafargeholcimrus.ru/advises/article/o-primenenii-sverkhvysokoprochnogo-fibrobetona-ductal-v-rossiyskom-mostostroenii/>



Рисунок 7. Пешеходный переход через железнодорожные пути в Le Cannet-des-Maures (Франция), пролет 34 м <https://lafargeholcimrus.ru/advises/article/o-primeneni-sverkhvysokoprochnogo-fibrobeta-ductal-v-rossiyskom-mostostroenii/>



Рисунок 8. Укладка слоя из UHPFRC. Мост в Швейцарии. Восстановление и гидроизоляция всей плиты и карнизов <https://www.dorvest.ru/dd/newnumber.html>

Важно подчеркнуть, что применение сверхвысокопрочных бетонов требует разработки новых типов железобетонных конструкций с новыми формами сечений. Так в таблице 2 показаны сечения балок из разных материалов. Проанализировав ее, можно отметить, что вес конструкций из УНРС практически равен весу конструкций из металлических конструкций, при этом их площадь почти в 4 раза меньше, чем у сечений из обычного бетона.

Таблица 2

Сравнение сечений балок из различных материалов

Показатель	Сталь (570 МПа)	Бетон УНРС (180 МПа)	Высокопрочный бетон (80 МПа)	Обычный бетон (40 МПа)
Поперечное сечение				
Площадь, м ²	0,0112 (100 %)	0,35 (312,5 %)	0,0800 (714,3 %)	0,16 (1428,6 %)
Вес, кН/м	0,88 (100 %)	0,89 (101,1 %)	2,0 (227,3 %)	4,0 (454,6 %)

Составлена автором

Из этого можно заключить, что применение бетона УНРС, как материала, обладающего высокой прочностью на сжатие и малым весом, открывает прекрасные перспективы в строительстве мостов.

Заключение

Таким образом, рассмотрев такие виды бетонов, такие как самоуплотняющийся бетон, фибробетон, сверхвысокопрочный бетон, можно сделать вывод о том, что введение их в повсеместное использование вполне возможно и даже необходимо. Характеристики этих бетонов значительно выше, чем у обычных и стоимостные отличия компенсируются в дальнейшем, за счет большего срока службы конструкций, а также путем снижения затрат на производство ремонтно-восстановительных работ. В каких-то случаях эта выгода будет получена уже на этапе производства работ, когда будет получено снижение трудозатрат и уменьшено время строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калашников В.И. Порошковые высокопрочные дисперсно-армированные бетоны нового поколения / В.И. Калашников, С.В. Калашников // Популярное бетоноведение. – 2007. – № 2 (16). – С. 44–49.
2. Калашников, В.И. Проблемы использования высокопрочного бетона и основные принципы их создания / В.И. Калашников // Материалы X Междунар. науч.-техн. конф. – Запорожье: ООО «Бидиндустрия ЛТД», 2005. – С. 29–37.
3. Richard, P. Composition of Reactive Powder Concrete. Skientific Division Bougies / P. Richard, M. Cheurezy // Cement and Concrete Research. – 1995. – V. 25, № 7. – P. 1501–1511.
4. Бондарев Б.А., Копалин Д.А., Бондарев А.Б., Ерофеева И.В., Аль Дулайми Салман Давуд Салман Разработка эффективных составов бетонов для конструкций плит проезжей части сталежелезобетонных пролетных строений // Транспортные сооружения, 2019 №3, <https://t-s.today/PDF/05SATS319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/05SATS319.
5. Функ А.А. Строительство зданий и сооружений в экстремальных климатических условиях: особенности организации работ и используемых стройматериалов // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2018 №4, <https://t-s.today/PDF/06SATS418.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/06SATS418.
6. Воронин В.В., Шувалова Е.А., Одинцов А.А., Архангельский Е.А. Применение добавок для ускорения набора прочности как альтернатива тепловлажностной обработке бетона // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2018 №2, <https://t-s.today/PDF/10SATS218.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/10SATS218.
7. Калашников В.И., Ананьев С.В., Высокопрочные и особовысокопрочные бетоны с дисперсным армированием // Строительные материалы, 2009, № 6. – С. 59–61.
8. Варакин М.Ю. Современные виды бетона, используемые в транспортном строительстве // Материалы XIII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли Юга России», ВолгГТУ, г. Волгоград, 21–24 мая, 2019 г. – С. 111–114.

9. Спиридонов Н.Н., Лapidус А.А. Технология производства сборных конструкций с использованием фиброцемента // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №1, <https://t-s.today/PDF/09SATS119.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/09SATS119.
10. Мишина А.В., Чилин И.А., Андрианов А.А. Физико-технические свойства сверхвысокопрочного сталефибробетона // "Вестник МГСУ", №3, 2011 г., с. 159–165.
11. Dr. Ali T. Jasim. Fresh properties of self-compacting concrete with time // Journal of Babylon University. 2010.
12. Круглов В.М., Ерофеев В.Т., Ватин Н.И., Аль Дулайми Салман Давуд Салман. Вариант деформационной теории пластичности бетона в плоском напряжённом состоянии // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №4, <https://t-s.today/PDF/11SATS419.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/11SATS419.
13. Mkrtchyan A.M., Mailyan D.R., Aksenov V.N. Experimental study of the structural properties of high-strength concrete // 5th International Scientific Conference "European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches": Papers of the 5th International Scientific Conference. August 26–27, 2013, Stuttgart, Germany. 2013. P. 81–87.
14. Mkrtchyan A.M., Mailyan D.R., Aksenov V.N. Experimental study of reinforced concrete columns of high-strength concrete // Applied Sciences and technologies in the United States and Europe: common challenges and scientific findings: Papers of the 2nd International Scientific Conference (September 9–10, 2013). Cibunet Publishing. New York, USA. 2013. P. 130–134.
15. Zoran Jure Grdic, Gordana A. Toplicic-Curcic, Iva M. Despotovic, Nenad S. Ristic. Properties of self-compacting concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate // Construction and Building Materials, (July 2010).
16. Horst G. and Joerg R. Self compacting concrete – another stage in the development of the 5-component system of concrete // Betontechnische Berichte (Concrete Technology Reports), Verein Deutscher Zementwerke. – Dusseldorf, 2001. P. 39–48.
17. Словьянчик А.Р., Пуляев И.С., Нагорный Д.Е. Применение самоуплотняющихся бетонов в транспортном строительстве // Бетон и Железобетон. 2012-1.
18. Некрасов В.П. Новейшие приемы и задачи железобетонной техники: система свободных связей // Цемент, его производные и применение: XII съезд русских цементных техников. СПб., 1909. С. 294–348.
19. Ибе Е.Е., Шугурова А.В. Перспективы применения фибробетона при строительстве гидротехнических сооружений // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №1 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/61TVN117.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
20. Wang De-hui, Shi Cai-jun, Wu Lin-mei. Research and Applications of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) in China [J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society. 2016, 35(1): 141–149.
21. Guang Ya-ping. Design and preliminary experiments of UHPC π -shaped girder bridge [D]. Master's thesis of Hunan University.

Varakin Maksim Yurievich

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia
E-mail: Varakin_maksim@mail.ru

Ovchinnikov Igor Georgievich

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia
Perm national research polytechnic university, Perm, Russia
E-mail: bridgesar@mail.ru

Features of application of modern types of concrete in transport construction

Abstract. The paper considers the problem of using modern types of concrete, in particular self-compacting concrete, fiber concrete and ultra-high-strength concrete.

The issues of the importance of analyzing the possibility of using innovative types of concrete were raised in order to improve the quality of the resulting structures, increase their durability, reduce labor costs, reduce the time of work. The principle of operation of self-compacting concrete and concrete using various fibers instead of conventional reinforcement is described. Their strength characteristics are shown, the principle of operation, the features of its use, as well as manufacturing methods are described. The main types of fibers, both metallic and non-metallic, are distinguished, their main features are described. It also discusses the importance of adhering to the technology for laying concrete mixtures and how to care for them. Examples of their possible and actual use in transport construction and not only are given.

The experience of using self-compacting concrete and fiber concrete in tunneling, bridge building. The issues of their development and features of their application are raised. The importance of their use from an environmental point of view (the use of recycled materials) is noted.

A comparison of the main mechanical characteristics of several types of concrete (ultrahigh-strength concrete, high-strength concrete, ordinary concrete) is carried out. The principle of tensile operation of ultrahigh-strength concrete in comparison with other materials is considered.

Using the authors' works as an example, the work emphasizes the importance of further research of these materials, the development of regulatory documentation for further implementation in various areas of construction, the importance of developing new types of reinforced concrete structures with new section shapes, which is possible with the correct approach and use of modern materials, is emphasized.

Keywords: modern types of concrete; high strength concrete; fiber concrete; self-compacting concrete; ultra high strength concrete; cost of concrete; durability; reduction of labor costs

REFERENCES

1. Kalashnikov V.I., Kalashnikov S.V. (2007). Powder high-strength dispersion-reinforced concrete of a new generation. *Popular Concrete Science*, 2(16), pp. 44–49 (in Russian).
2. Kalashnikov V.I. (2005). Problemy ispol'zovaniya vysokoprochnogo betona i osnovnye printsipy ikh sozdaniya. [*Problems of using high-strength concrete and the basic principles of their creation.*] Zaporozhye: LLC "Bidindustriya LTD", pp. 29–37.
3. Richard P., Cheurezy M. (1995). Composition of Reactive Powder Concrete. Skientific Division Bougies. *Cement and Concrete Research*, 7(25), pp. 1501–1511.
4. Bondarev B.A., Kopalin D.A., Bondarev A.B., Erofeva I.V., Al-Dulaimi Salman Dawood Salman (2019). Development of effective compositions of concrete for the construction of slabs of the roadway of steel concrete span structures. *Russian journal of transport engineering*, [online] 3(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/05SATS319.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/05SATS319.
5. Funk A.A. (2018). The construction of buildings and structures in extremally climatic conditions: features of the organization of works and used materials. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(5). Available at: <https://t-s.today/PDF/06SATS418.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/06SATS418.
6. Voronin V.V., Shuvalova E.A., Odincov A.A., Arkhangelskiy E.A. (2018). The use of additives to accelerate the gain in strength as an alternative to the steam treatment of concrete. *Russian journal of transport engineering*, [online] 2(5). Available at: <https://t-s.today/PDF/10SATS218.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/10SATS218.
7. Kalashnikov V.I., Anan'ev S.V. (2009). High-strength and especially high-strength concrete with dispersed reinforcement. *Building materials*, 6, pp. 59–61 (in Russian).
8. Varakin M.Yu. (2019). Sovremennye vidy betona, ispol'zuemye v transportnom stroitel'stve. [*Modern types of concrete used in transport construction.*] Volgograd: Volgograd State Technical University, pp. 111–114.
9. Spiridonov N.N., Lapidus A.A. (2019). Production technology of prefabricated structures using fibre cement. *Russian journal of transport engineering*, [online] 1(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/09SATS119.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/09SATS119.
10. Mishina A.V., Chilin I.A., Andrianov A.A. (2011). Physicotechnical properties of ultra high strength steel fiber concrete. *Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering*, 3, pp. 159–165 (in Russian).
11. Dr. Ali T. Jasim (2010). *Fresh properties of self-compacting concrete with time*. Journal of Babylon University.
12. Kruglov V.M., Erofeev V.T., Vatin N.I., Al-Dulaimi Salman Dawood Salman (2019). Version of the deformation theory of plastic ductility of concrete in a plane stress state. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/11SATS419.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/11SATS419.
13. Mkrtchyan A.M., Mailyan D.R., Aksenov V.N. (2013). *Experimental study of the structural properties of high-strength concrete*. Stuttgart, Germany, pp. 81–87.

14. Mkrtchyan A.M., Mailyan D.R., Aksenov V.N. (2013). *Experimental study of reinforced concrete columns of high-strength concrete*. New York, USA: Cibunet Publishing, pp. 130–134.
15. Zoran Jure Grdic, Gordana A. Toplicic-Curcic, Iva M. Despotovic, Nenad S. Ristic (2010). Properties of self-compacting concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*.
16. Horst G., Joerg R. (2001). *Self compacting concrete – another stage in the development of the 5-component system of concrete*. Dusseldorf: Verein Deutscher Zementwerke, pp. 39–48.
17. Slov'yanchik A.R., Pulyaev I.S., Nagornyy D.E. (2012). The use of self-compacting concrete in transport construction. *Concrete and Reinforced Concrete*, 1 (in Russian).
18. Nekrasov V.P. (1909). Noveyshie priemy i zadachi zhelezobetonnoy tekhniki: sistema svobodnykh svyazey. [*The latest techniques and tasks of reinforced concrete technology: a system of free connections.*] Saint Petersburg, pp. 294–348.
19. Ibe E.E., Shugurova A.V. (2017). Possibility of application fiber concrete in the construction of hydraulic structures. *Naukovedenie*, [online] 1(9). Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/61TVN117.pdf> (in Russian).
20. Wang De-hui, Shi Cai-jun, Wu Lin-mei (2016). Research and Applications of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) in China [J]. *Bulletin of the Chinese Cer Amic Society*, 35(1), pp. 141–149.
21. Guang Ya-ping (n.d.). *Design and preliminary experiments of UHPC \mathcal{L} — shaped girder bridge [D]*. Master's thesis of hunan university.