



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет



Строительный факультет

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА И
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Материалы 70-й студенческой
научно-технической конференции

Минск
БНТУ
2015

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Строительный факультет

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА
И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Материалы 70-й студенческой
научно-технической конференции
(7–12 мая 2014 г.)*

Минск
БНТУ
2015

УДК 691.32

ББК 38.3

А43

Редакционная коллегия:

Э. И. Батяновский – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой
«Технология бетона и строительные материалы»;

М. Г. Бортницкая – старший преподаватель кафедры «Технология бетона
и строительные материалы»

Рецензенты:

В. В. Бабицкий – д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология бетона
и строительные материалы»;

Г. Т. Широкий – канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология бетона
и строительные материалы»;

П. И. Юхневский – канд. хим. наук, доцент кафедры «Технология бетона
и строительные материалы»

Сборник содержит материалы 70-й студенческой научно-технической конференции «Актуальные проблемы технологии бетона и строительных материалов». В издании освещены материалы пленарного заседания, исследующего проблемы технологии производства и особенности эксплуатации бетона и других строительных материалов.

Издание предназначено для научно-педагогических работников, студентов, магистрантов и аспирантов.

ISBN 978-985-550-562-5

© Белорусский национальный
технический университет, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Волосевич С.В., Тютин Б.Н. Гипотезы о морозостойкости. Связь морозостойкости со структурой бетона	4
Герасимов Д.Ю. Техническое нормирование цементов для дорожно-строительного комплекса	12
Корсун А.М. Портландцемент с добавкой техногенного волокна	19
Костюкович А.Н., Мытько С.О. Физико-механические свойства конструкционного бетона во взаимосвязи с гранулометрией заполнителя.....	23
Кучук Е..В. Высокопрочный бетон, проблемы и задачи	27
Лемешко В Н.. Стеновые материалы из неавтоклавного газобетона с улучшенными физико-механическими свойствами	33
Петроневиц Д.А. Суперэффективный бетон	38

Гипотезы о морозостойкости. Связь морозостойкости со структурой бетона

Волосевич С.В., Тютин Б.Н
Научный руководитель – Бондарович А.И.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В развитии теории морозостойкости бетона представлено множество гипотез о причинах и механизме разрушения бетона при совместном действии на него воды и мороза.

Наиболее просто объяснить разрушение каменного материала в этих условиях давлением воды, замерзающей в его порах. Это объяснение, считавшееся ранее само собой разумеющимся и исчерпывающим, нашло выражение в количественной оценке морозостойкости камня по коэффициенту насыщения пор водой. Однако по средней величине коэффициента насыщения нельзя предугадать морозостойкость капиллярно-пористого материала, каким является бетон, так как миграция воды приводит к неравномерному распределению ее в его объеме. Роль расширения воды при замерзании учитывается и в современных гипотезах, но само по себе это физическое явление не может полностью объяснить процесс разрушения бетона.

В этой связи большое значение для развития теории морозостойкости бетона имеют работы Г. К. Дементьева и Ю. А. Нилендера. Ю. А. Нилендер дал научную классификацию пустот и трещин в бетоне, выделив пустоты, образовавшиеся при укладке (каверны, воздушные поры, водные поры), и трещины, возникшие в результате силовых воздействий. Трещины от силовых воздействий подразделяются на две группы: от внешних нагрузок и от собственных напряжений. Собственные напряжения в бетоне, по классификации Ю. А. Нилендера, могут быть трех родов:

1) Макроструктурные напряжения, возникающие вследствие неравномерного распределения температуры или влаги в объеме бетона.

2) Микроструктурные напряжения, возникающие в оболочках из цементного камня и зернах заполнителя вследствие их различной деформации при изменении влажности и температуры.

3) Ультрамикроструктурные напряжения – дезориентированные, уравнивающиеся в объемах, соизмеримых с размером кристаллов новообразований в цементном камне.

Представленные в роли деформаций в процессе физической коррозии бетона получили развитие в исследованиях Н. А. Попова. При чередующихся циклах воздействия среды на пористый материал наблюдается накопление остаточных деформаций, что делает это явление сходным с накоплением пластических деформаций от многократных знакопеременных механических воздействий, приводящих к усталости материала. Н. А. Попов совместно с В. А. Невским экспериментально исследовали развитие в бетоне повреждений усталостного типа. Обобщение опытных данных привело авторов к выводу, что с увеличением деформаций усадки и набухания бетона понижается его морозостойкость.

В развитие этих работ были опубликованы результаты исследований В. М. Москвина и А. М. Подвального, выявивших большое изменение морозостойкости бетона под влиянием силовых воздействий от внешних нагрузок. В этом исследовании было установлено, что существует некоторая предельная величина напряжений, ниже которой влияние изгибающих напряжений становится мало заметным и морозостойкость напряженного бетона мало отличается от морозостойкости ненагруженного бетона. В исследованиях В. М. Москвина и А. М. Подвального предельная величина напряжений составляла 0,2 предела прочности бетона на растяжение при изгибе.

С. В. Шестоперов внес большой вклад в развитие теории морозостойкости и экспериментальных исследований долговечности бетона. С. В. Шестоперов придает большое значение нормированию минералогического состава цемента: цемент для бетонов высокой морозостойкости должен быть алитовым ($C_3S > 55\%$), содержание трехкальциевого алюмината ограничивается строгой нормой – для марки F800 – не более 6%, для марки F1500 – не более 5%, для марки F3000 – до 4%. С. В. Шестоперов рекомендует использовать тонкомолотые цементы, а для «направленного структурообразования» применять мокрый помол клинкера при оптимальной дозировке гипса и введение сульфитно-спиртовой барды (ныне аналог – ЛСТ).

В работах В. В. Стольниковца долговечность бетона исследована в зависимости от его строения. По его мнению, имеет значение не

только абсолютная величина пористости, но и физический характер пор – разобщенные они или сообщающиеся. В. В. Стольников различает в бетоне капилляры двух типов: капилляры цементного камня и капилляры в зоне контакта цементного камня и заполнителей.

По мнению В. В. Стольникова, система капилляров в зоне контакта является основным путем проникания в бетон воды. Улучшение строения бетона достигается уменьшением седиментационного расслоения цементного теста и цементного раствора, уменьшением общей пористости и переводом открытой пористости в замкнутую. Практической мерой для ослабления седиментационных процессов является применение малопластичных и тщательно уплотненных жестких смесей. Большое значение имеют добавки поверхностно-активных веществ. Уменьшению седиментации цементного теста способствовало также повышение тонкости помола цемента и наличие в нем небольшого количества трехкальциевого алюмината.

В. В. Стольников использовал в качестве суммарной физической характеристики строения бетона показатель интенсивности капиллярного всасывания, определяемый по разработанной им методике. В его исследованиях наблюдалось повышение морозостойкости при уменьшении интенсивности капиллярного всасывания, которое зависит от общей пористости, а также от ее физического характера. Наиболее эффективным мероприятием по уменьшению капиллярного всасывания оказалось одновременное снижение В/Ц и сокращение расхода цемента при введении добавки СНВ (смола нейтрализованная воздухововлекающая).

Одной из наиболее существенных причин морозной деструкции бетона современная теория считает миграцию влаги в его объеме под влиянием градиента влажности и температуры. Теория миграции влаги разработана Н. А. Цытовичем, М. И. Сумгиным, Лыковым А. В. и другими учеными СССР. По этой теории распределение влажности в замерзающем пористом теле является функцией всех процессов, происходящих при замерзании.

Результаты опытов Конопленко А. И. и других исследователей подтвердили, что миграция воды направлена к охлаждаемой поверхности бетона. Вследствие миграции увеличивается насыщение водой пор вблизи наружной поверхности, что обуславливает разрушение наружных слоев бетона.

По существу миграция воды непосредственно связана с капиллярной пористостью структуры бетона, которая предопределяет его проницаемость. При этом есть непосредственная взаимосвязь между размерами сечения и длины капилляров, формами связи воды с его стенками и процессы ее миграции под влиянием капиллярных сил, градиента влажности и температуры.

Коллинс рассматривает морозостойкость бетона с точки зрения роста кристаллов льда, применив к бетону одну из гипотез о замерзании почвы. По мнению Коллинса, вследствие охлаждения, идущего снаружи, в бетонном массиве образуется лед в виде слоев, параллельных наружной охлаждаемой поверхности. Разрушение бетона происходит под действием давления растущих кристаллов льда.

Предположение о послойном образовании льда не согласуется с результатами опытов Горчакова и др. по изучению миграции воды в бетоне при циклическом замораживании.

В 1945 г. Пауэрс опубликовал рабочую гипотезу для дальнейшего изучения морозостойкости бетона, которая известна как гипотеза гидравлического давления. Она основана на предположении, что замерзающие наружные слои бетона расширяются и оказывают давление, оттесняющее внутрь еще не замерзшую воду, в результате чего в бетоне возникает гидравлическое давление, рассматривавшееся как причина разрушения бетона.

Гипотезы гидравлического давления имеют определенное отношение к так называемой «теории интервала между порами», изложенной в работах Пауэрса. Согласно этой теории, роль вовлеченного воздуха состоит в том, чтобы предотвратить расширение цементного камня во время замерзания. При этом эффективность воздушных пор зависит от толщины слоев цементного камня между ними, т. е. от фактора интервала.

Исследователи, выдвигавшие и обосновывавшие рассмотренные гипотезы морозной деструкции бетона, приходят к общему выводу, что решающими факторами морозостойкости являются характеристики строения бетона, т.е. состояние его пористости.

Именно состояние структуры бетона, его пор, особенно «дисперсность» и объем капиллярной пористости, непосредственно влияют на свойства воды, которые она проявляет при замораживании и оттаивании бетона.

При рассмотрении связи морозостойкости и строения бетона целесообразно исходить из обоснованного В. Н. Юнгом представления о цементном камне как о микробетоне, состоящем из гелевых и кристаллических продуктов гидратации цемента и многочисленных включений в виде негидратированных зерен клинкера и минеральных добавок.

Если цементное тесто хорошо уплотнено (воздушная пористость не превышает 1-2%), то поры в твердеющем цементном камне образуются главным образом испаряющейся водой. Характер таких пор обусловлен формами связи влаги с материалом. Классификация форм связи влаги с материалом, предложенная академиком Ребиндером П. А., построена по принципу интенсивности энергии связи и в полном виде приведена в книге А. В. Лыкова. По этой классификации все формы связи влаги с материалом подразделяются на три основные группы. Химическая связь, возникающая в определенных молекулярных соотношениях, является наиболее сильной по сравнению с другими формами связи. Физико-химическая связь устанавливается не в строго определенных соотношениях. Часть испаряющейся воды, не связанной в агрегатах частиц цементного геля, находится между ними и имеет с материалом физико-механическую связь. Эта часть испаряющейся воды, условно названная «капиллярной», удерживается в материале капиллярным давлением. Основная ее масса является свободной и сохраняет свои свойства.

Следовательно, испаряющаяся вода имеет с цементным камнем две формы связи – физико-химическую и физико-механическую. На этой основе можно выделить в твердеющем цементном камне три основные группы пор, отличающиеся по размеру, расположению в цементном камне и по их влиянию на морозостойкость бетона.

Капиллярные поры, образуемые «капиллярной» испаряющейся водой, имеющей с материалом физико-механическую связь, расположены между агрегатами частиц цементного геля. Капиллярные поры являются основным дефектом строения плотно уложенного бетона, понижающим его морозостойкость.

Контракционные поры образуются вследствие уменьшения абсолютного объема системы цемент – вода. При замерзании бетона контракционные поры играют роль своеобразных запасных резервуаров, в которые может отжиматься часть воды из капиллярных пор. Благодаря этому, как считает Г. И. Горчаков, уменьшается дав-

ление замерзающей воды на стенки капиллярных пор и повышается морозостойкость бетона.

Поры геля представляют собой промежутки между его частицами, образованные испаряющейся водой, адсорбционно связанной в гидратных оболочках частиц геля, и расположенные в агрегатах частиц цементного геля. Вода в порах геля находится в особом состоянии и не переходит в лед при низких температурах порядка -40°C и даже -78°C , что согласуется с выводами Б. В. Дерягина, Н. А. Цытовича и М. И. Сумгина о специфических свойствах тонких слоев воды.

Одной из наиболее важных является классификация пор цементного камня и бетона по их эффективным радиусам. Для цементного камня и бетона наиболее удобно делить поры на три группы:

- 1) микрокапилляры ($r < 0,1$ мкм),
- 2) макрокапилляры [$(1 - 10) > r > 0,1$ мкм],
- 3) некапиллярные поры.

Иногда можно дополнительно дифференцировать микропоры на ультрамикропоры ($r < 50 \text{ \AA}$) и переходные микропоры ($50 \text{ \AA} < r < 0,1$ мкм).

В макрокапиллярах слой воды у стенок связан адсорбционно, а остальная часть воды механически удерживается капиллярным давлением, обусловленным кривизной поверхности жидкости.

На основании данных, полученных Н. Н. Федякиным, можно предполагать, что вода геля и вода в контракционных порах цементного камня не увеличивается в объеме при охлаждении бетона. Следовательно, удлинение влажных образцов цементных растворов при замораживании вызвано расширением воды преимущественно в капиллярных порах, являющихся макрокапиллярами. Таким образом, для повышения морозостойкости необходимо уменьшение объема макрокапилляров, имеющих радиус более $0,1$ мкм (более 1000 \AA).

Общепризнанным фактором морозной деструкции бетона являются деформации цементного камня, раствора и крупного заполнителя при замораживании и оттаивании.

Москвин В.М. и Капкин М. М. изучали деформации цементного камня при более низких отрицательных температурах, до -70°C . Величину деформаций цементного камня определяли в лабораторной термокамере с автоматическим регулированием температур.

Исследовали цементный камень, приготовленный из сульфатостойкого портландцемента марки 500. Образцы размером 2,5x2,5x25 см с упорами-фиксаторами по торцам изготавливали из цементного теста с водоцементным отношением 0,25; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 и 0,8. Для испытаний брали образцы, твердевшие в течение месяца в нормальных условиях и насыщавшиеся водой двое суток.

Деформации цементного камня отражают уменьшение размеров образца разной интенсивности, в зависимости от В/Ц и температуры до $-20... -30^{\circ}\text{C}$, и наличие резкого увеличения его в объеме при массовом переходе жидкой фазы в лед.

Во время испытаний изучалось также влияние низких отрицательных температур на развитие остаточных деформаций, т.е. при медленном повышении температуры образцов от глубокой отрицательной до положительной. Для этого образцы из цементного камня испытывали по ранее описанной методике с той лишь разницей, что при обратном ходе кривой выдерживание при данной температуре (во время повышения температуры) было в 2...3 раза более длительным, чем при прямом ходе кривой. Это делалось потому, что одинаковая температура по всему сечению образца при обратном ходе кривой (при оттаивании) устанавливается значительно медленнее.

Это исследование привело к выводу, что деформации, возникающие при замораживании водонасыщенных образцов, зависят от характера пористости и количества поглощенной воды. Для образцов, насыщенных методом погружения, получены кривые «температура - деформация», которые в области отрицательных температур имели два максимума, что указывает на наличие различных по размеру групп пор.

Исследования Н. А. Цытовича и М. И. Сумгина выявили зависимость температуры замерзания воды от размера (сечения) капилляров. М. И. Сумгин получал тонкие пленки воды расплющиванием водопроводной воды между отшлифованными стеклянными пластинками. Опыты показали, что температура перехода воды в лед при прочих равных условиях тем ниже, чем тоньше слой воды. Этот вывод согласуется с опытами Боровик-Романовой Т. Ф. Вместе с тем было выявлено, что замерзание воды в тонких слоях зависит как от температуры, так и от продолжительности замораживания.

Уменьшение деформаций цементного раствора при замерзании достигается снижением В/Ц и обеспечением влажных условий

твердения, благоприятствующих более полной гидратации цемента. Эти мероприятия способствуют уменьшению объема капиллярных пор (макропор) и почти полному устранению деформаций в температурном интервале от -5 до -10°C .

Приведенные данные характеризуют взаимосвязь морозостойкости и долговечности бетона с состоянием его структуры (по существу – ее непроницаемости) и прочности, обеспечивающей возможность восприятия напряжений, возникающих от различий упруго-деформативных свойств составляющих бетона, расширения воды при замерзании, воздействия ее в процессе миграции и других деструктивных явлений.

Литература:

1. Горчаков Г.И., Капкин М.М., Скрамтаев Б.Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. - М.: Стройиздат, 1965.
2. Дементьев Г.К. Условие долговечности бетона и железобетона. - Куйбышев: Куйбышевское книгоиздат., 1955.
3. Попов Н.Д., Невский В.А. К вопросу об усталости бетона при многократных циклах чередующихся воздействий окружающей среды. Тр. МИСИ им. В.В. Куйбышева. Сб. № 15. - М., 1957.
4. Москвин В.М., Подвальный А.М. Морозостойкость бетона в напряженном состоянии. Бетон и железобетон, 1960, № 2.
5. Шестоперов С.В. Долговечность бетона.-.:Автотрансиздат, 1960
6. Стольников В.В. Исследования по гидротехническому бетону. - М.: - Л.: Госэнергоиздат. 1953.
7. Цытович Н.А., Сумгин М.И. Основания механики мерзлых фунтов. -М.: Изд. АН СССР, 1937.
8. Лыков А.В. Тепло- и массообмен в процессах сушки. - М.: - Л.: Госэнергоиздат, 1956.

Техническое нормирование цемента для дорожно-строительного комплекса

Герасимов Д.Ю.

Научный руководитель – Дзабиева Л. Б.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В настоящее время наблюдается непрерывный рост интенсивности движения на автомобильных дорогах Республики Беларусь, общая протяженность которых, включая дороги республиканского и местного значения, составляет 87 тысяч километров. Интенсивность движения в г. Минске по каждой из полос может достигать 8000-9000 автомобилей в сутки и более, вплоть до десятков тысяч. При этом в их числе существенно возрастает доля большегрузных автомобилей, автопоездов и автобусов, что существенно увеличивает напряжения, вызываемые воздействием транспорта на дорожное покрытие, и в ближайшей перспективе эта тенденция сохранится.

Прочность асфальтобетона в 2-2,5 раза ниже тех напряжений, которые возникают при воздействии колес динамично движущегося тяжелого транспорта, что актуализирует вопросы использования для покрытия дорог высокопрочных цементных бетонов. [1]

Дороги с цементобетонным покрытием в Республике Беларусь составляют только 1290 км, в то время как в развитых странах доля дорожных одежд с цементобетонным покрытием составляет: в Германии 31%, в США – 35%, в Бельгии – 41%.

Цементобетонные покрытия по сравнению с асфальтобетоном обладают целым рядом преимуществ:

- существенно большая прочность;
- стабильность деформативных свойств при изменении температуры, особенно это касается жаркого времени года;
- рост прочности во времени при благоприятных условиях эксплуатации;
- светлый цвет, что повышает безопасность движения ночью;
- относительно малая истираемость;
- повышенная морозостойкость при использовании суперпластификаторов и воздухововлекающих добавок;

- стабильность коэффициента сцепления покрытия с колесами автомобилей, малая его зависимость от степени увлажнения;
- продолжительность эксплуатации около 30 лет, хотя имеются примеры хорошего состояния покрытия после 50-летней эксплуатации. [2]

В настоящее время начинается активное строительство второй кольцевой автодороги вокруг Минска, которая будет дорогой с цементобетонным покрытием. Протяженность строящейся дороги – 88,4 км, общая протяженность кольца – более 160 км (с учетом существующих участков), количество полос движения – 4, ширина проезжей части – 15 м, общая ширина дороги с разделительной полосой и укрепленными обочинами – от 22 м. Толщина покрытия на МКАД – 2 будет 24 см. На устройство покрытия понадобится около 300 тыс. м³ цементобетона. [3]

Формирование структуры дорожного бетона и его свойств зависит от многих факторов: вида и качества исходных материалов, запроектованного состава бетона, применяемых химических добавок, технологии приготовления, укладки и уплотнения бетонной смеси, эффективности армирования покрытия, качества ухода за бетоном.

Одним из основных материалов, определяющих свойства бетонной смеси и бетона для дорожного строительства является портландцемент. Высокие требования, предъявляемые к бетону для дорожных покрытий, обуславливают необходимость применения специальных цементов, нормированного минералогического состава. Но до настоящего времени специального стандарта на цементы, используемые в транспортном строительстве, не было. Цементы для бетонов дорожных и аэродромных покрытий, а так же для изготовления железобетонных изделий и конструкций, используемых в транспортном строительстве (трубы, шпалы, опоры ЛЭП, мостовые конструкции и т.п.), выпускались по ГОСТ 10178. В этом стандарте кроме общих требований, предъявляемых ко всем цементам, содержится пункт, устанавливающий дополнительные требования к дорожным цементам. Действующий в настоящее время ГОСТ 31108, гармонизированный с европейским, распространяется только на цементы общестроительного назначения и не содержит специальных требований к цементам для транспортного строительства, в том

числе требований к минералогическому составу клинкера и прочносте цемента на растяжение при изгибе, приоритетных для бетона дорожных и аэродромных покрытий.

В 2011-2013 годах ООО Фирма «Цемяскон» разработала ряд стандартов на цементы специального назначения, среди них ГОСТ Р 55224-2012 «Цементы для транспортного строительства. Технические условия», введенный в действие с 1 июля 2013 года. Стандарт устанавливает технические требования к специальным цементам, применяемым в транспортном строительстве, классы прочности и типы по вещественному составу в зависимости от назначения цемента с учетом классификации и методов испытаний цементов, установленных в ГОСТ 30515, ГОСТ 31108 и ГОСТ 30744 соответственно.

Основные требования, включенные в ГОСТ Р 55224-2012:

- классификация цементов для транспортного строительства по назначению;
- ограничения по типам и классам прочности цементов, которые могут применяться в транспортном строительстве;
- предел прочности на растяжение при изгибе цемента для бетонов дорожных и аэродромных покрытий;
- дополнительные требования к вещественному составу цемента и минералогическому составу клинкера.

Стандарт [6] распространяется на цементы, изготавливаемые на основе поргладцементного клинкера нормированного состава и применяемые в транспортном строительстве для изготовления бетонов дорожных и аэродромных покрытий, мостовых конструкций, железобетонных изделий, в том числе железобетонных труб, шпал, опор линий электропередач, бордюрного камня и др., а также для бетона дорожных оснований и укрепления грунтов, для которых специальные требования к минералогическому составу клинкера не предъявляются (далее – цементы), и устанавливает требования к цементам и компонентам их вещественного состава. Требования стандарта допускается использовать при проектировании и изготовлении других железобетонных изделий и конструкций, если это не противоречит действующим нормативным документам на эти изделия и конструкции (стандартам, сводам правил и др.). Согласно [6]

цементы для транспортного строительства по назначению подразделяют на:

- цемент для бетонов дорожных и аэродромных покрытий – ДП;
- цемент для бетонов дорожных оснований – ДО;
- цемент для изготовления ЖБИ и мостовых конструкций – ЖИ;
- цемент для укрепления грунтов – УГ.

Далее рассмотрим классификацию цемента по вещественному составу, которая приводится в [6]. При назначении ДП используются следующие типы: ЦЕМ I, ЦЕМ II/A-III с тем условием, что содержание доменного гранулированного шлака не должно превышать 15% от массы основных компонентов цемента; при ДО - ЦЕМ II/A-III, ЦЕМ II/B-III, ЦЕМ III/A, ЦЕМ V/A; при ЖИ - ЦЕМ I, ЦЕМ II/A-III; при УГ – типы не устанавливаются, а содержание минеральных добавок допускается до 80% массы цемента.

Условные обозначения цемента по [6] включают в себя:

- наименование цемента по [5]
- обозначение типа и класса прочности цемента
- обозначение цемента по назначению
- обозначение стандарта

Пример условного обозначения портландцемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий ДП, типа ЦЕМ I, класса по прочности 42,5Н:

Портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ДП ГОСТ Р

Композиционный цемент для бетонов дорожных оснований ДО, типа ЦЕМ V/A 5 со смесью золы и шлака, класса прочности 32,5Н:

Композиционный цемент ЦЕМ V/A (Ш-3) 32,5Н ДО ГОСТ Р

В условное обозначение цемента допускается не включать его наименование по ГОСТ 31108, например:

ЦЕМ V/A (Ш-3) 32,5Н ДО ГОСТ Р

Условное обозначение цемента, в котором содержание щелочных оксидов R_2O не превышает 0,6% его массы, дополняют словом «низкощелочной» или обозначением «НЩ». Обозначение «НЩ» помещают после обозначения класса прочности цемента.

Пример условного обозначения низкощелочного цемента со шлаком для бетона дорожных и аэродромных покрытий, класса прочности 42,5Б:

Низкощелочной цемент ЦЕМ II/A-III 42,5Б ДП ГОСТ Р или

ЦЕМ II/A-III 42,5Б НЦ ДП ГОСТ Р.

Прочность на сжатие цемента конкретного класса прочности в возрасте 2; 7 и 28 сут. должна соответствовать требованиям [5].

Прочность на растяжение при изгибе цемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий должна соответствовать значениям, приведенным в таблице 1.

Таблица 1

Прочность на растяжение при изгибе

Срок испытаний, сут.	Прочность на растяжение при изгибе, МПа, не менее, цемента класса					
	32,5Н	32,5Б	42,5Н	42,5Б	52,5Н	52,5Б
2	-	3.9	3.9	4.1	4.1	4.4
7	4.1	-	-	-	-	-
28	5.5	5.5	6.0	6.0	6.5	6.5

Стандартом [6] регламентируются также следующие технические параметры цементов для транспортного строительства:

Удельная поверхность цементов ДП, ДО, ЖИ должна быть не менее 270 и не более 350 м²/кг при измерении методом воздухопроницаемости.

Начало схватывания цементов ДП, ДО и ЖИ должно наступать не ранее 2 ч от начала затворения.

Цемент, применяемый в транспортном строительстве, должен выдерживать испытания на *равномерность изменения объёма*. Расширение не должно превышать 10 мм при определении в кольце Лешателье.

Содержание щелочных оксидов в пересчете на Na₂O (R₂O=Na₂O+0,658K₂O) в цементе для бетона дорожных и аэродромных покрытий не должно превышать 0,8% массы цемента.

Водоотделение цемента ДП, ДО и ЖИ – не более 28%.

Цемент для бетона дорожных и аэродромных покрытий не должен обладать признаками ложного схватывания.

Минералогический состав портландцементного клинкера, используемого для изготовления цемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий, мостовых конструкций и железобетонных

изделий, используемых в транспортном строительстве, должен соответствовать приведенному в таблице 2.

Таблица 2

Минералогический состав клинкера

Клинкерный минерал	Содержание клинкерного минерала, % массы клинкера, применяемого для изготовления цемента	
	Для бетона дорожных и аэродромных покрытий	Для железобетонных изделий и мостовых конструкций
C_3A , не более	7	7
(C_3A+C_4AF) , не более	24	-
C_3S , не менее	55	55

Для изготовления цемента для бетона дорожных оснований и укрепления грунтов применяют портландцементный клинкер, соответствующий требованиям [5].

Минеральные добавки, допускаемые к применению в соответствии с ГОСТ 31108, при содержании их в цементе свыше 6% его массы за вычетом массы материалов, содержащих сульфат кальция, а так же суммарной массы технологических и специальных добавок, относятся к основным компонентам цемента.

При изготовлении цемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий, для железобетонных изделий и мостовых конструкций в качестве основного компонента применяют только добавку доменного гранулированного шлака по ГОСТ 3476.

При изготовлении цемента для укрепления грунтов применяют любые активные минеральные добавки или добавки-наполнители, не ухудшающие свойств цемента. Вспомогательными компонентами вещественного состава цемента являются минеральные добавки, содержание которых в цементе не превышает 5% суммарной массы основных и вспомогательных компонентов.

При изготовлении цементов ДП, ДО и ЖИ содержание органических добавок не должно быть более 0,15% массы цемента.

Введение требований [6] в практику дорожного строительства будет способствовать повышению качества объектов дорожно-строительного комплекса.

Литература:

1. А.В. Бусел Роль науки в совершенствовании техники и технологии для дорожно-строительного комплекса. М-лы Республиканской Научно-технической конференции молодых ученых. Минск, БНТУ, 2014, с.7-9.
2. С.М. Рояк Специальные цементы/ С.М. Рояк, Г.С. Рояк – М.: Стройиздат, 1983.-279с.
3. Электронный ресурс <http://arcp.by/es/article/vtoraya-mkad-oputnyu-uchastok-cementobetonno-pokrytiya-okolo-1-kilometra-budet-gotov-k-1>
4. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
5. ГОСТ 3118-2003. Цементы общестроительные. Технические условия.
6. ГОСТ Р 55224-2012 Цементы для транспортного строительства. Технические условия.

Портландцемент с добавкой техногенного волокна

Корсун А.М.

Научный руководитель – Опекунов В.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В Республике Беларусь (РБ) производят различные строительные материалы и изделия (бетоны, шифер и др.), включающие волокнистые добавки (фибры).

В БНТУ проводятся поисковые исследования, целью которых является разработка рецептур формовочных смесей с применением техногенных волокнистых наполнителей (ТВН). По ряду полезных свойств ТВН не уступают дефицитным кондиционным высокопрочным волокнам.

В настоящее время на заводах Беларуси накоплены сотни тонн невостребованных ТВН различного происхождения.

В работе [1] приведены данные о физико-механических свойствах цементного газобетона с добавкой ТВН в виде использованной кордной ткани (ИКТ). При этом ИКТ вводили в формовочную смесь в процессе ее приготовления в турбулентном смесителе. Микроскопические исследования показали, что поверхностный слой элементарных волокон ИКТ несколько ослаблен (разрыхлен) вследствие механического воздействия при извлечении корда из шин (рисунок 1). На участках длиной 30-40 мкм волокна ИКТ иногда содержат 1-2 остатка размером до 10 мкм вещества черного цвета (материал шины), прочно соединенного с волокном (микроанкеры). Отход ИКТ сохранил специальное покрытие-«пропитку».

В РБ работает несколько заводов, на которых извлекают ИКТ из различных шин. Продукт ИКТ накапливается.

Представляется целесообразным исследовать вопрос о получении минерального вяжущего (портландцемента, гипсового вяжущего и др.) с добавкой ТВН в виде ИКТ.

Цель работы – исследование основных физико-механических свойств портландцемента с добавкой техногенного волокна в виде ИКТ.

Вязущие материалы с добавкой ТВН могут иметь различные области применения. Известно, что ТВН лучше вводить в формовочные смеси для изготовления, например, тонкостенных строительных изделий, испытывающих изгибающие нагрузки. При этом ТВН вводят, например, в составе гидромассы (при изготовлении теплоизоляционных материалов) или шлама. Для оценки физико-технических или специальных свойств вязущих материалов в тонкостенных изделиях и штукатурных покрытиях существуют специальные методики.

На первом этапе исследований выполнили оценку основных физико-технических свойств ПЦ-ИКТ по ГОСТ 310.4–81 и ГОСТ 30744–2001 в научно-исследовательской и испытательной лаборатории бетонов и строительных материалов БНТУ. Фактически проводили испытания мелкозернистого бетона при соотношении ПЦ-ИКТ : песок = 1 : 3.

Вязущее в виде ПЦ-ИКТ получали путем совместного измельчения компонентов в лабораторной шаровой мельнице типа МБЛ – 5 в течение 10 минут. Добавку ИКТ вводили в количестве 1, 2, 3 % от массы клинкера (рисунки 2, 3).

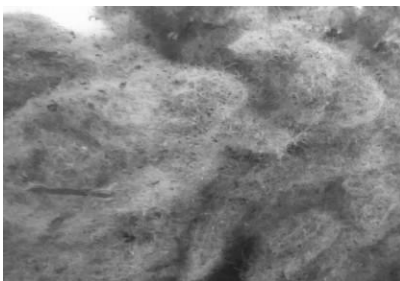


Рис. 1. Волокнистый наполнитель ИКТ (кордная ткань)

Испытания образцов-балочек размерами 160×40×40 мм в «возрасте» 28 суток твердения (27 суток водного хранения) показали, что у образцов ПЦ-ИКТ, содержащих 3% волокон ИКТ, имеет место прирост прочности при изгибе – до 2% (прочность контрольного ПЦ при изгибе – 5,7 МПа).

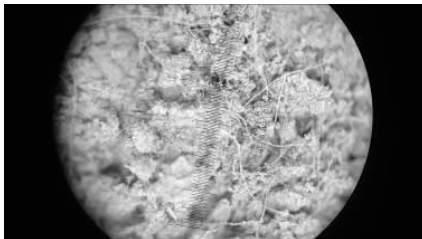


Рис. 2. Портландцемент с добавкой ИКТ

Прочность при сжатии ПЦ-ИКТ (активность контрольного ПЦ составляет 33,9 МПа) практически не изменилась.



Рис 3. Формовочная смесь, включающая портландцемент с добавкой ИКТ и кварцевый песок

Установлено, что свежесформованная поверхность цементного камня из ПЦ-ИКТ содержит небольшое количество волокон ИКТ. На сколе образцов просматриваются единичные элементарные волокна ИКТ (рисунок 4).



Рис. 4. Поверхность разрушения цементного образца с волокнами ИКТ

В настоящее время проводятся работы по установлению влияния добавки ИКТ (в составе ПЦ-ИКТ) на основные физико-технические свойства бетонов, применяемых при изготовлении тонкостенных изделий.

Литература:

1. Опекунов, В.В. Применение техногенных волокон в производстве строительных изделий / В. В. Опекунов, Ю. В. Скорина, Ю. Д. Самуйлов // Новости науки и технологий. – 2013. – № 1-2 – с. 34-39.

Физико-механические свойства конструкционного бетона во взаимосвязи с гранулометрией заполнителя

Костюкович А.Н., Мытько С.О.

Научный руководитель – Федорович П.Л.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В данной работе представлены результаты исследований, направленных на решение проблемы рационального использования побочного продукта технологического процесса производства гранитного щебня, образующегося в виде мелких фракций (менее 5 мм) и называемого гранитным отсевом.

В строительной отрасли Беларуси преобладают мелкие пески. Как известно, с уменьшением количества фракций и их размеров в мелком заполнителе неизбежно возрастает объем цементного теста, то есть растет расход цемента. Эту проблему может решить прием обогащения природных песков крупными фракциями гранитного отсева.

Для оценки физико-механических свойств бетона на обогащенном природном песке были проведены экспериментальные испытания. Под каждый вид испытаний изготавливали образцы 5 вариантов состава бетона, отличающихся модулем крупности песка в диапазоне от $M_k \geq 1,0$ до $M_k = 3, 5$.

Были получены следующие результаты испытаний.

Водопоглощение бетона (по массе и объему), характеризующее объем открытой, сообщающейся капиллярной пористости, снижается в соответствии с увеличением доли крупных фракций гранитного отсева с 4,55% до 3,4% – 2,45%, т.е. в 1,3...1,85 раза или на 30...85%. Соответственно этому растет плотность структуры и непроницаемость бетона.

Морозостойкость бетона повышается в 2-3 раза в сравнении с бетоном на песке с $M_k = 1,0$ (с «F100» до «F300» и более), за счет снижения проницаемости бетона, формирования более плотной структуры и повышения прочности, т.е. создания необходимых предпосылок для устойчивости бетона к попеременному замораживанию-оттаиванию и воздействию сопровождающих эти процессы явлений: увеличения в объеме замерзающей «свободной» жидкости,

ее миграции, различных по уровню деформаций в объеме цементного камня и бетона и других деструктивных факторов.

Таблица 1

Характеристика состава бетона для испытаний

№ состава бетона	Номинальный расход материалов, кг/м ³					Средняя плотность бетонной смеси фактическая, кг/м ³	ОК, см	
	цемент	щебень фр. 5-20	Мелкий заполнитель, кг					Вода / В/Ц
			Песок	Отсев	Мк, д.ед.			
1	350	1150	700	-	1,0	190 / 0,54	2412	≈3
2	350	1150	492	208	2,0	175 / 0,5	2447	≈3
3	350	1150	389	311	2,5	175 / 0,5	2460	≈3
4	350	1150	288	412	3,0	175 / 0,5	2483	≈2,5
5	350	1150	185	515	3,5	175 / 0,5	2495	≈2,5

Коррозионная стойкость в среде солей-хлоридов возрастает в закономерной связи со снижением водопоглощения и проницаемости бетона на обогащенном крупными фракциями отсева песке. Это же относится и к устойчивости к воздействию пресной воды, имитируемой испытаниями на переменное увлажнение-высушивание, которые способны вызвать деструкцию бетона, что проявилось в образцах на тонком природном песке с Мк=1,0 и не оказало влияния на образцы с обогащенным заполнителем.

В целом, по всем исследованным эксплуатационным свойствам обогащение исходного песка с Мк=1,0 крупными фракциями гранитного отсева позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики конструкционного тяжелого бетона. Его эффективность базируется на обеспечиваемом росте плотности и прочности бетона, который, в свою очередь, основывается на улучшении соотношения фракций и снижении пустотности мелкого заполнителя, снижении его удельной поверхности, повышении качества сцепления поверхности заполнителя с цементным камнем, снижении водо-

содержания (соответственно – водоцементного отношения) при сохранении равноподвижности бетонной смеси.

Для оценки возможности снижения фактического расхода цемента были взяты составы бетона на обогащение до $M_k \sim 2,5$; 3,0 и 3,25, которые на стадии определения прочности бетона в проектном возрасте (твердение до 28 сут. в нормально-влажностных условиях) показали наибольшие приросты прочности. На их основе были изготовлены и испытаны серии (4...6 шт.) образцов с уменьшением на 10% и 20% расхода цемента. Прочие условия были равны: осадка конуса во всех случаях соответствовала марке «П 1», изменяясь с уменьшением расхода цемента (от 350 кг до 280 кг) с 3...4 см до 1...2 см.

Обобщение данных показывает, что при сохранении принципа равенства прочности бетона на природном песке с $M_k \leq 2,0$ и обогащенном до $M_k \geq 2,5$ возможно снизить расход цемента на 10...20% на каждом производимом на мелкозернистых песках 1 м^3 бетона. При этом одновременно не только не снижаются, но становятся более высокими качественные характеристики бетона и, как следствие, улучшаются эксплуатационные свойства бетона.

По оценкам фактического положения дел на РУПП «Гранит» гранитный отсев по массе составляет 30...35% от исходной горной породы, идущей на производство щебня, и до настоящего времени практически не используется, накапливаясь в отвалах промышленной площадки предприятия. В связи с вышесказанным было бы рациональным использовать гранитный отсев в технологии бетонов и растворов для обогащения местных природных песков.

Литература:

1. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981 – 464 с.
2. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н. и др. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
3. Тейлор Х. Химия цемента. Пер. с англ. – М.: Мир, 1996. – 560 с.
4. СТБ 1168-99 Метод контроля коррозионного состояния стальной арматуры в бетоне и защитных свойств бетона.

5. ГОСТ 12730.0(2)-84 Бетоны. Методы определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости.
6. ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний.
7. ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ. Технические условия.
8. СТБ 1545-2005 Смеси бетонные. Методы исследований.
9. ГОСТ 10180-90 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
10. ГОСТ 18105-86 Бетоны. Правила контроля прочности.

Высокопрочный бетон, проблемы и задачи

Кучук Е.В.

Научный руководитель – Гуриненко Н.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В настоящее время высокопрочными бетонами считаются бетоны, прочность на сжатие которых, составляет более 150 МПа.

Данную прочность в производственных условиях получить не представляется возможным в связи с неполной разработкой теоретических вопросов и отсутствием на рынке качественных составляющих для бетона.

Для производства высокопрочного бетона водоцементное отношение должно быть значительно ниже 0,4, за счет чего уменьшается пористость и повышается прочность матрицы цементного камня. При минимальном отношении В/Ц и, следовательно, низком содержании воды в смеси удобоукладываемость бетона в реальных условиях достигается лишь за счет увеличения содержания вяжущего и, особенно за счет добавления пластификатора.

Зерна заполнителя должны обладать высокой прочностью и по возможности высоким модулем упругости. Также необходимо очень хорошее сцепление между зернами заполнителя и матрицей цементного камня. В данном случае превосходный результат достигается за счет добавления активных минеральных добавок и каменной муки микрометрического масштабного уровня (пуццолановых вяжущих).

Важную роль играют прочность, водопоглощение (форма зерна, гранулометрический состав) и химическая активность (предотвращение щелочных реакций). Чтобы уверенно выйти на прочность выше 100 МПа, рекомендуется применять мелкий базальтовый, габбровый или гранитный щебень.

Кривая гранулометрического состава должна проходить между эталонными кривыми просеивания и обладать как можно более низким содержанием мелкодисперсных частиц ($< 0,125$ мм) и мелкозернистого песка (от 0,125 до 0,25 мм). Диаметр самого крупного зерна должен колебаться в пределах от 8 до 16 мм.

В качестве минеральных добавок при производстве высокопрочных бетонов используются: микрокремнезем, зола-унос каменного угля, метакраолин, нанокремнезем (кремневая кислота) и каменная мука (кварцевая и известняковая мука). Микрокремнезем имеет в данном контексте особое значение: сферические частицы микрокремнезема диаметром примерно 0,2 мкм заполняют пустоты между частицами цемента и усиливают сцепление между зернами заполнителя и цементным камнем за счет разрушения низкопрочных кристаллов портландита (пуццолановая реакция).

Обязательным условием при изготовлении высокопрочных бетонов является использование пластификаторов в качестве химических добавок.

Благодаря относительно высокому содержанию цемента, использованию микрокремнезема и низкому водоцементному отношению высокопрочные бетоны при затвердевании развивают следующие качества (в сравнении с традиционными бетонами):

- более быстрое нарастание температуры в строительной конструкции;
- повышенная скорость потребления и связывания воды в процессе гидратации;
- ускоренное нарастание прочности в первые дни.

Недостатком подобных бетонов по сравнению с традиционными бетонами является их более интенсивная аутогенная усадка. Понятием «аутогенная усадка» обозначают изменение объема, которое под влиянием изотермических условий происходит в бетонном образце, помещенном в герметичное пространство. Она является результатом химической усадки и, в общих чертах, ассоциируется с «внутренним высыханием» цементного камня (при отношении В/Ц ниже 0,4 содержание воды недостаточно для обеспечения полноценной гидратации цемента). Аутогенная усадка уже в первые дни после бетонирования может привести к возникновению сильного напряжения на растяжение и, следовательно, к трещинообразованию. В отличие от сухой усадки аутогенную усадку невозможно уменьшить путем внешнего ухода за бетоном.

Наиболее эффективным средством борьбы с трещинообразованием в высокопрочных бетонах, вызванным аутогенной усадкой, является внутренний уход путем введения равномерно распреде-

ленных по всему объему бетона микровключений, содержащих свободную воду. Перспективным представляется использование полимеров (SAP), обладающих высокой абсорбирующей способностью и играющих роль накопителей. Полимеры SAP добавляются в бетон в виде порошка и в процессе перемешивания поглощают воду, образуя, таким образом, микроскопические водяные поры. Впервые полимеры SAP были применены для внутреннего ухода в 2006 г.

Введение в бетонную смесь супер- и гиперпластификаторов и реакционноактивных пуццолановых добавок микрокремнезема (МК) и микрометакаолина (ММК) – условие необходимое, но недостаточное для создания высокопрочных (ВПБ) и особо высокопрочных (ОВПБ) бетонов с прочностью 150–200 МПа. Используя суперпластификаторы в бетонах традиционных составов, обеспечивающих заполнение каркаса бетона максимальным количеством щебня, можно увеличить прочность бетона в “тощих” составах на 10–15%, а в “жирных” на 25–40%. Добавляя МК или ММК, можно связать до 20% гидролизной извести из алита и белита и повысить прочность бетона на 20–50%. В итоге общее увеличение прочности может быть полуторо-двукратным.

Используя для бетона экономичный состав с соотношением компонентов Ц : П : Щ = 1 : 1,5 : 2 при расходе цемента 500 кг марки М550, можно при В/Ц=0,38 получить марку бетона 500. При введении суперпластификатора и снижении расхода воды до 20–25% можно повысить прочность до 65–75 МПа. При введении МК в количестве 15–20% от массы портландцемента можно из самоуплотняющихся бетонных смесей достигнуть прочности бетона 80–100 МПа. Такое значение прочности является предельным для традиционных составов бетона. При этом концентрация твердой фазы, вычисляемая как отношение суммы объемов цемента, песка и щебня к 1 м³ бетона, будет очень высокой и составит 85–89% при водотвердом отношении бетонной смеси 0,072–0,090.

В статье [5] приводятся результаты испытания высокопрочного бетона, изготовленного с использованием вяжущего низкой водопотребности ВНВ-100 активностью 92 МПа, мытого гранитного щебня, крупного песка и МК. Бетон имел к 28 сут. нормального твердения прочность при сжатии всего 86 МПа. Это является доказательством того, что дальнейшее повышение прочности невозможно без кардинального изменения состава и топологической структуры бе-

тона. Новая рецептура и структура высокопрочных бетонов должна увеличить объем реологической водно-дисперсной матрицы ($V_{\text{дп}}$) первого рода, состоящей из цемента, добавки МК и воды. Эта более объемная матрица должна обеспечить свободное перемещение частиц песка в водно-дисперсной системе.

В бетонах нового поколения объем реологической матрицы необходимо увеличивать добавлением к цементу не только МК, но и дисперсных частиц каменной муки микрометрического масштаба уровня.

Второй важный для обеспечения “высокой” реологии бетонных смесей для высокопрочных бетонов фактор – увеличение подвижности за счет увеличения объема цементно-водно-песчаной реологической матрицы $V_{\text{цп}}$ второго уровня. Она должна обеспечить свободное перемещение зерен щебня в цементно-песчаной (растворной) смеси, то есть необходима существенная раздвижка зерен щебня.

В бетонах, изготовленных только с дисперсной добавкой МК [5], объемы реологических матриц при солидном расходе цемента хоть и увеличились в 1,7–1,9 раз по сравнению с бетонами общего назначения, но существенно ниже, чем должны быть в структуре супербетонов.

Таким образом, цемент низкой водопотребности, который обычно обеспечивает в суспензии высокий водоредуцирующий индекс (ВИ) (по нашим исследованиям, 2,1–2,5), не в состоянии сделать бетон высокопрочным. Поэтому для достижения высокой прочности бетона на ВНВ его необходимо также использовать с добавкой каменной муки для создания рациональной топологической структуры бетона, а не только обеспечить высокий разжижающий эффект суперпластификатора (СП) в ВНВ. Разжижающая способность СП в ВНВ высокая, а объема дисперсной фазы для обеспечения свободного перемещения частиц песка и зерен щебня в достаточном количестве не имеется.

Для бетонов высокой прочности более эффективны не ВНВ-100, а ВНВ-60–70, содержание которых в бетоне должна быть 900–1000 кг на 1 м³ бетона.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Кардинальное повышение прочности бетонов с суперпластификаторами от марки 1000 до марки 1500–2000 при активности це-

мента 500–550 достигается рационально подобранным составом и многокомпонентностью бетона, а также за счет рациональной реологии и дополнительного синтеза гидросиликатов в капиллярно-пористой структуре цементного камня.

2. Улучшение реологии путем существенного разжижения цементно-водной матрицы обеспечивается использованием эффективных супер- и гиперпластификаторов и значительным водопонижением в бетонных смесях.

3. Увеличение объема цементно-водной матрицы, а вместе с ней и прочности, можно достигнуть повышением содержания цемента до 800–1000 кг на 1 м³ бетона. Однако такие бетоны с пониженным содержанием крупного заполнителя являются сильно усадочными, нетрещиностойкими и недолговечными. Они обладают повышенной ползучестью.

4. Для увеличения объема тонкодисперсной реологической матрицы в бетонных смесях необходимо добавлять к цементу значительное количество каменной муки, повышая ее долю до 50–70% и более к массе цемента. Такая матрица, кардинально меняющая состав и топологическую структуру бетона, превращая бетон в малопесчаный, обеспечит свободное перемещение частиц песка в минерально-водно-цементной системе.

5. Не всякая каменная мука может быть использована для увеличения объема реологической матрицы из дисперсных частиц микрометрического уровня. Каменная мука должна быть реологически активной в суспензии с суперпластификатором и обеспечивать более высокую гравитационную растекаемость (текучесть под действием собственного веса), чем цементная суспензия. Реологические свойства такой суспензии должны обеспечивать высокий водоредуцирующий индекс при водопонижении с сохранением текучести.

6. Реализация более высокой прочности за счет синтеза дополнительного количества гидросиликатов в структуре бетона достигается добавками активного МК, ММК или кислой золы мультициклонов (с минимальным количеством несгоревших остатков), доля которых составляет 10–30% и зависит от содержания портландцемента.

7. Каменная мука для изготовления ВПБ и ОВПБ должна изготавливаться из прочных и плотных горных пород для исключения

капиллярного поглощения раствора СП и обезвоживания бетонной смеси в процессе ее приготовления и укладки.

8. В процессе интенсивного перемешивания бетонной смеси с суперпластификатором неизбежно вовлечение пузырьков воздуха. После укладки бетонной смеси воздушные пузырьки частично удаляются из объема под действием сил Архимеда. В связи с быстрым образованием в поверхности изделий, контактирующих с воздухом, плотного слоя необходимо покрывать изделие пленкой, препятствующей испарению воды и не мешающей удалению пузырьков воздуха.

Литература:

1. Структурно-механические свойства и технология высокопрочного бетона. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/ Рыскин М.Н. – Минск, 2002.
2. Основные принципы создания высокопрочных и особо высокопрочных бетонов. Статья/ Калашников В. И. – 2008.
3. Высокопрочные и сверхпрочные бетоны: технологии производства и сферы применения. Статья, «СтройПРОФИль» № 8-08/ Мещерин В.С. – Москва, 2008.
4. Высокопрочный бетон. Статья, «СтройПРОФИль» № 8-07/ Зайцев И.Н. – Москва, 2007.
5. Фаликман В. Р., Калашников О. О. “Внутренний уход” за особо высокопрочными быстротвердеющими бетонами // Технологии бетонов. – 2006. – № 5. – С. 46–47.
6. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны/ Научное издание. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 368с.

Стеновые материалы из неавтоклавного газобетона с улучшенными физико-механическими свойствами

Лемешко В.Н.

Научный руководитель – Повидайко В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В условиях дефицита и высокой стоимости энергоносителей наблюдается тенденция увеличения объема производства эффективных ячеистых стеновых материалов, применяемых в малоэтажном строительстве и в высотном строительстве зданий каркасного типа. Наиболее перспективным является производство неавтоклавного газобетона, в котором исключается энергоемкий процесс автоклавирования. Неавтоклавный газобетон относится к ячеистым бетонам с замкнутой структурой пор в цементном камне, образованных в результате взаимодействия порообразователя (алюминиевой пудры или алюминиевой пасты), цемента в процессе гидратации и наполнителей (песок, доломитовая мука, известь), твердеющий при естественных условиях или при электропрогреве.

Вязущее применяют совместно с кремнеземистым компонентом, содержащим диоксид кремния. Кремнеземистый компонент (молотый кварцевый песок, речной песок, зола-унос ТЭС и молотый гранулированный доменный шлак) уменьшают расход вязущего, усадку бетона и повышают качество ячеистого бетона. Кварцевый песок обычно размалывают мокрым способом и применяют в виде песчаного шлама. Измельчение увеличивает удельную поверхность кремнеземистого компонента и повышает его эффективность использования. Экономически выгодно применение побочных продуктов промышленности для изготовления ячеистого бетона – золы-уноса доменных шлаков, нефелинового шлама и др.

В условиях роста стоимости энергетических ресурсов существенное значение приобретает производство строительных материалов, технология изготовления которых отличается пониженной энергоемкостью, а также применение высокоэффективных теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях. Действующие требования повышенной теплозащиты ограждающих элементов исключили возможность применения однослойных стен из пол-

нотелого кирпича – как керамического, так и силикатного. Сохранение приемлемой толщины стены (до 60 см) требует применения дополнительного теплоизоляционного материала. Это относится также к чердачным покрытиям и цокольным перекрытиям.

Таким теплоизоляционным материалом является ячеистый бетон, в частности – неавтоклавный газобетон. Главная причина использования эффективных ячеистых материалов с улучшенными теплоизоляционными свойствами состоит в необходимости экономии энергии. Автоклавный газобетон требует для своего изготовления значительных расходов энергии. Однако существует менее энергоемкий и экономичный неавтоклавный газобетон, обладающий целым комплексом положительных характеристик.

Неавтоклавный газобетон – экологически чистый материал с обеспеченной сырьевой базой. Он состоит из цемента, наполнителя (золы ТЭС), воды и газообразователя (алюминиевой пудры). Известен неавтоклавный газобетон на отходах производства, бесцементный или содержащий малое количество цемента (не более 100 кг/м^3): его прочность при плотности 600 кг/м^3 может превышать 5 МПа. Это материал с широким диапазоном свойств, он может конкурировать и с таким эффективным теплоизоляционным материалом, как минеральная вата, и с эффективным пористым кирпичом. Его плотность составляет от 200 до 1200 кг/м^3 , а максимальная прочность может превышать 10 МПа. Газобетон имеет высокую паропроницаемость и способен создавать в помещении благоприятный микроклимат. Номенклатура газобетонных изделий достаточно широка. Это и элементы теплоизоляции, в том числе скорлупы для трубопроводов, и огнеупорные изделия: крупные и мелкие стеновые блоки, панели, плиты перекрытий.

Неавтоклавный газобетон получается в результате реакции между портландцементом и мелкодисперсной алюминиевой пудрой. Выделяющийся водород образует поры в цементном тесте [1].

По типу химических реакций газообразователи делятся на следующие виды:

- 1) Вступающие в химическое взаимодействие с вяжущими или продуктами его гидратации (алюминиевая пудра);
- 2) Разлагающиеся с выделением газа (пергидроль);
- 3) Взаимодействующие между собой и выделяющие газ в результате обменных реакций (молотый известняк).

Так как алюминий покрыт оксидной пленкой, то для протекания реакции газообразования при взаимодействии с водой ее необходимо разрушить. Известно два способа разрушения: химический (приготовление суспензии щелочи и алюминиевой пудры) и механический (в процессе перемешивания компонентов, входящих в состав замеса, в результате трения частиц). Расход алюминиевой пудры в обоих случаях имеет разницу в 10-20 грамм из расчета на 1 м³ готовой продукции (в суспензии щелочи расход меньше).

Сложность приготовления суспензии состоит в точной дозировке компонентов на каждый замес. В простом применении при производстве смеси выгоднее использовать механический способ разрушения оксидной пленки. При производстве необходимо учитывать температурный режим: смеси, формы и камеры твердения (около 40°C). Каждый режим тем или иным образом влияет на качество готовой продукции.

Процесс производства неавтоклавного газобетона осуществляется следующим образом. Портландцемент, молотая негашеная известь и зола подается в силос из цементовоза. В качестве активатора бетонной смеси используется алюминиевая пудра, на основе которой готовится алюминиевая суспензия в емкости с пропеллерным смесителем. Для активации вспучивания и ускорения твердения газобетона можно использовать сульфат натрия. Сульфат натрия в виде порошка доставляется в емкостях и дозируется через отдельный дозатор.

Полипропиленовая фибра подается в смеситель через специальный дозатор. Для приготовления газобетонной массы используют воду, нагретую до 40°C. Газобетонную массу перемешивают в бетоносмесителе. Предварительно дозируют воду и суспензию алюминиевой пудры. Транспортировка извести в весовой дозатор осуществляется шнековым питателем. Из весового дозатора цемент, зола ТЭС и негашеная известь с помощью шнекового транспортера подаются в смеситель. Время перемешивания смеси 3 мин. После этого через весовой дозатор подается алюминиевая суспензия. Время перемешивания газобетонной массы после добавления алюминиевой суспензии не должно превышать 3 мин.

Последовательность добавления компонентов в смеситель: вода – сульфат натрия – портландцемент, зола – негашеная известь – полипропиленовая фибра – алюминиевая суспензия. Готовую газобе-

тонную смесь выливают в форму, которая предварительно устанавливается на виброударный стол, расположенный под вибросмесителем. Один замес смесителя выливается в одну форму. После заполнения формы включается виброударный механизм. Время вспучивания 7...10 мин. Общее время дозирования, заливания и вспучивания одного массива – 20 мин. Заполненную газобетоном форму с помощью кран-балки транспортируют на участок выдержки. Время выдержки не менее 6 ч. После набора массивом необходимой пластической прочности форму распалубливают, а массив на поддоне с помощью кран-балки транспортируется на участок выдержки. Через 12 ч массив разрезается на резальном комплексе на изделия заданных размеров.

Формы освобожденные от массива подготавливаются, вставляются очищенные поддоны, собираются и смазываются. Отходы подаются в смеситель через узел подготовки отходов, который состоит из дозаторов отходов, дозатора воды и смесителя-активатора.

Газобетонные изделия с помощью манипулятора переносят из резального стола на поддоны, запаковывают пленкой и с помощью автопогрузчика транспортируют на склад готовой продукции.

В виду закрытости пор, неавтоклавный газобетон имеет невысокую паропроницаемость. А процесс газообразования, в результате химического взаимодействия алюминиевой пудры и щелочи, создает внутреннее напряжение ячейки и уплотнение стенок между порами, что позволяет получить прочность выше, чем у пенобетона, при заданной одинаковой плотности.

Неавтоклавный газобетон может использоваться для устройства внешних ограждающих конструкций, при этом толщина конструкций должна быть задана с учетом нагрузки и термического сопротивления.

Преимущества неавтоклавного газобетона - невысокая себестоимость изделий; используется обычный не измельченный мелкий песок с модулем крупности $M_k=1,4 - 2,1$; кладку блоков выполняют на обычном растворе. Литьева технология предусматривает изготовление изделий, как правило, в отдельных формах из подвижных смесей, содержащих 50-60% воды от массы сухих компонентов. Водо-твердое отношение В/Т составляет 0,5-0,6.

В Научно-исследовательской и испытательной лаборатории бетонов и строительных материалов БНТУ проведены исследования

по разработке композиций и технологии производства неавтоклавного газобетона. В качестве основных сырьевых материалов использовали портландцемент марки ПЦ 500, песок речной с модулем крупности $M_k=1,5$, алюминиевую пудру и добавки. Испытания образцов в возрасте 28 суток показали, что они имеют предел прочности при сжатии 1,8-2,9 МПа, среднюю плотность – 650-800 кг/м³, морозостойкость – 35 циклов (F35), теплопроводность – 0,14-0,21 Вт/м·К. Полученный неавтоклавный газобетон относится к конструкционно-теплоизоляционным материалам. Проведены исследования по улучшению физико-механических свойств образцов из неавтоклавного газобетона. Для повышения трещиностойкости и морозостойкости образцов в сырьевую смесь вводили дисперсные волокнистые наполнители: целлюлозные волокна и полипропиленовые волокна. Исследования показали, что добавки дисперсных волокон повышают морозостойкость (более 50 циклов) и повышают устойчивость к трещинообразованию.

По своим показателям образцы отвечают требованиям СТБ 1117 «Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия». Из неавтоклавного газобетона рекомендуется изготавливать стеновые блоки для малоэтажного строительства. Изделия могут применяться как для устройства наружных ограждающих конструкций, так и для устройства внутренних перегородок. За счет мобильности производства возможно монолитная заливка пустот и полостей стен, полов непосредственно на строительной площадке. Неавтоклавный газобетон может применяться также при строительстве каркасного высотного домостроения.

Литература:

1. Строительство. Гл. Ред. В.А. Кучеренко, т. 1 – М., «Советская Энциклопедия», 1964
2. Энциклопедия современной техники. Энциклопедии. Словари. Справочник, Т. 1. А – Кессон. 1964. 215 с.

Сверхэффективный бетон

Петроневи́ч Д.А.

Научный руководитель – Бабицкий В.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В последние годы во всех индустриально развитых странах стал проявляться повышенный интерес к производству сверхэффективных бетонов (СЭБ), под которыми понимаются все виды бетонов функционального назначения, которые по показателям качества соответствуют или превышают наиболее высокие качественные критерии, регламентированные стандартами различных стран. Очевидно, что современное строительство немислимо без использования особовысококачественных бетонов и доля их в объеме общего выпуска бетонов постоянно повышается и будет повышаться.

В зарубежной литературе такие бетоны обозначаются как **УНРС** («Ultra-high-performance concrete» англ. – дословно: ультра высокоэффективный бетон), в отечественной литературе распространён вариант «сверхэффективный бетон» СЭБ [1]. Основные сравнительные характеристики бетонов приведены в таблице. [2].

СЭБ позволяет создавать конструкции и сооружения, отличающиеся одновременно как высокой несущей способностью, так и тонкостью контуров [1]. Особо следует отметить то, что открывается возможность создания бетонов с практически неограниченной долговечностью.

Четырёхкомпонентному (обычному) бетону, который и до сих пор широко распространён, уже более 150 лет. За последние 80 лет было разработано огромное количество добавок, а широкое применение суперпластификаторов позволило подойти учёным к высоким значениям прочности в 130...150 МПа (**НРС**). И, таким образом, бетон как композитный материал насчитывал уже 5 составляющих. К дальнейшему повышению прочности и вообще функциональных свойств бетона привело понимание того, что действие суперпластификаторов адсорбционное и, соответственно, оно максимально реализуется на границе раздела фаз, а это означало, что максимальная эффективность будет в тонкодисперсных, а не грубодисперсных зернистых системах. Требовалось не только изъять из состава бе-

тонной смеси крупный заполнитель, но и становилось очевидным, что для достижения еще более высокой степени функциональности рассматриваемого материала в его рецептуре не хватало пары компонентов. [3]

Таблица 1

Сравнение бетона обычного УНС и УНРС

Основные свойства	Обычный бетон	Высококачественный бетон (НРС)	УНРС
Прочность на сжатие, МПа	< 50	≈ 100	≈ 200
Модуль упругости, ГПа	25-35	40-50	50-80
Водовяжущее отношение	≥ 0,40	≈ 0,30	≈ 0,20
Химическая добавка	Необязательна	Пластификатор или суперпластификатор	Гиперпластификатор
Высокодисперсная минеральная добавка	Необязательна	Микрокремнезём, зола-унос	Микрокремнезём, микронаполнители
Дисперсное армирование	Необязательно	Полезно	Необходимо
Уход	Традиционный	Традиционный	Тепловая обработка при повышенном давлении
Коэффициент истираемости	4,0	2,8	1,3
Глубина карбонизации	10	2	0
Диффузия хлоридов, 10^{-12} м ² /с	1,1	0,6	0,02

Один из этих компонентов должен был увеличить объём высокодисперсной реологической матрицы. И таким компонентом стали молотые горные породы, отходы горнорудной промышленности, обладающие реологической активностью с суперпластификатором. Задача другого компонента состояла в том, чтобы этот компонент формировал с цементом дополнительную прочность, что компенсировало бы некоторое снижение прочности из-за добавления цементосодержащего дисперсного порошка. И им стало такое вещество, которое

с высокой скоростью реализовало пуццоланическую реакцию с гидролизной известью в дополнительную прочность. Такими компонентами стали высокодисперсные аморфные кремнезёмы, дегидратированные каолины, высокодисперсные золы и пр. [3]. И, таким образом, бетон становился шестикомпонентным.

При необходимой корректировке зернового состава крупного заполнителя и ограничении максимального размера частиц стало возможным в полной мере реализовать реологические свойства пластификатора, в частности гиперпластификатора, и его высокое водоредуцирующее действие. Такой бетон становился порошковым и имел очень высокую прочность.

Однако, значительно повышение прочности на сжатие еще в большей мере, как это генетически «запрограммировано» в минеральной природе, повышало хрупкость композиционного материала и риск хрупкого разрушения конструкций из него. Соответственно перед наукой о бетоноведении вставала задача сохранения универсальности бетона, как строительного материала, через увеличение прочности с одновременным понижением хрупкости и повышением растяжимости композиционного материала. Для этого был необходим еще один компонент. И таким компонентом, седьмым и заключительным на данном этапе развития бетона как композиционного материала, стала дисперсная арматура. Важную роль в становлении структуры СЭБ играет рациональный выбор соотношения всех указанных компонентов смеси, обеспечивающих получение всего спектра указанных выше свойств материала (рис. 1).

Можно очертить рациональную область применения СЭБ: высотное строительство и строительство мостов, промышленные напольные покрытия, водоочистные установки, бетон для несгораемых сейфов и пр. [4]. И такой бетон уже начинал применяться в практике строительства. Так, выдающимся примером реализации концепции высококачественных бетонов является построенная в 1995 г. в Норвегии платформа для добычи нефти на месторождении Тролл в Северном море. Её полная высота – 472 м, в том числе высота железобетонной части, в основном ниже уровня моря, – 370 м. Платформа установлена на участке моря глубиной более 300 м и рассчитана на воздействие ураганного шторма с максимальной высотой волны 31,5 м. Несмотря на очень высокие силовые воздействия шторма и жесткие агрессивные воздействия морской воды,

расчетный срок эксплуатации платформы прогнозируется специалистами на 70 лет.

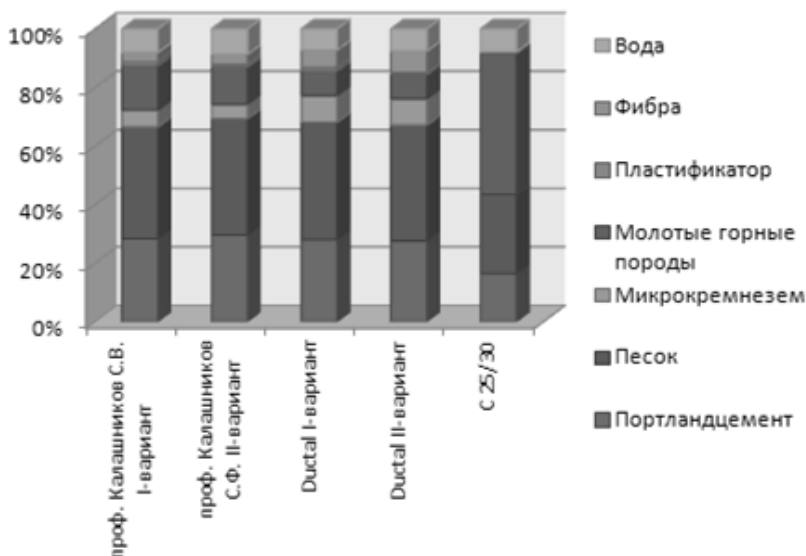


Рис. 1. Соотношение компонентов смеси

Примером экономии материалов при использовании **УНРС** по сравнению с наиболее распространёнными в наши дни сталью, а также железобетоном, являются изделия компании Ductal (рис. 2.) – они намного легче железобетонных при одинаковой несущей способности (масса 1 м.п. железобетона – 355 кг, преднапряженного железобетона – 313 кг, стали – 75 кг, Ductal – 94 кг).

Но у СЭБ есть и свои недостатки. В частности, эти бетоны имеют повышенные значения деформаций усадки (главным образом аутогенной) и ползучести [2]. Усадка начинает развиваться обычно через 2-4 часа после приготовления бетона [3] и активно протекает в первые 6-8 часов. Причина столь лавинообразного начального протекания усадки связано с суммированием химической и физической контракции [3] и доля последней должна быть не столь мала как в цементе, т.к. микрокремнезём имеет очень большую удельную поверхность и может своими поверхностными силами взаимодействия адсорбировать значительное количество воды. Также есть

мнение, что в развитии усадки большую роль играет быстрый процесс образования гидросиликатов. Решить эту проблему – насыщенная задача инженеров-технологов.

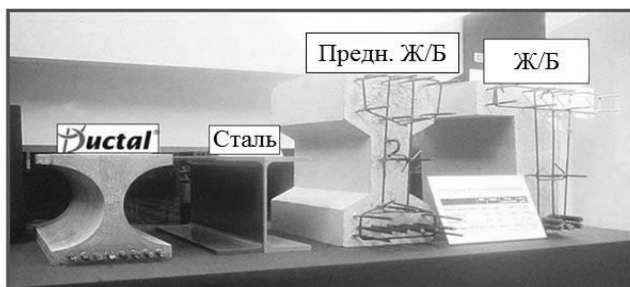


Рис. 2 Экономия материалов при использовании УНРС

Таким образом, современное строительство немыслимо без использования высококачественных бетонов и доля их в общем выпуске бетонов будет постоянно повышаться. Также стоит отметить, что экономически обоснованная рецептура СЭБ на настоящем этапе развития науки о бетонах должна преследовать цель не экономии цемента, а сокращения расхода железобетона в конструкциях за счёт его высокой и особо высокой прочности. В этом случае экономятся все компоненты бетона – от цемента до стали.

Литература:

1. Schmidt., Fehling E., Geisenhanslake C. (eds.): Ultra High Performance Concrete (UHPC) – Proceedings of the 1st International Symposium on Ultra High Performance Concrete; Schriftenreihe Baustoffeund Massivbau, Universitat Kassel, Heft 3, 2004.
2. Н.П. Блещик, В.В. Тур, Т.М. Пецольд и др. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчёта и конструирования. Учебное пособие. Брест, 2003. – 379 с.
3. Калашников С.В. Тонкозернистые реакционно-порошковые дисперсно-армированные бетоны с использованием горных пород. Дис. канд. тех. наук. Пенза, 2006. – 175 с.
4. В. Мещерин. Высокопрочные и сверхпрочные бетоны: технологии производства и сфера применения. Журнал «СтройПРО-Филь» №8. – 2008 г.

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА
И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Материалы 70-й студенческой
научно-технической конференции
(7–12 мая 2014 г.)*

Подписано в печать 12.11.2015. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 2,50. Уч.-изд. л. 1,95. Тираж 50. Заказ 659.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.