

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.

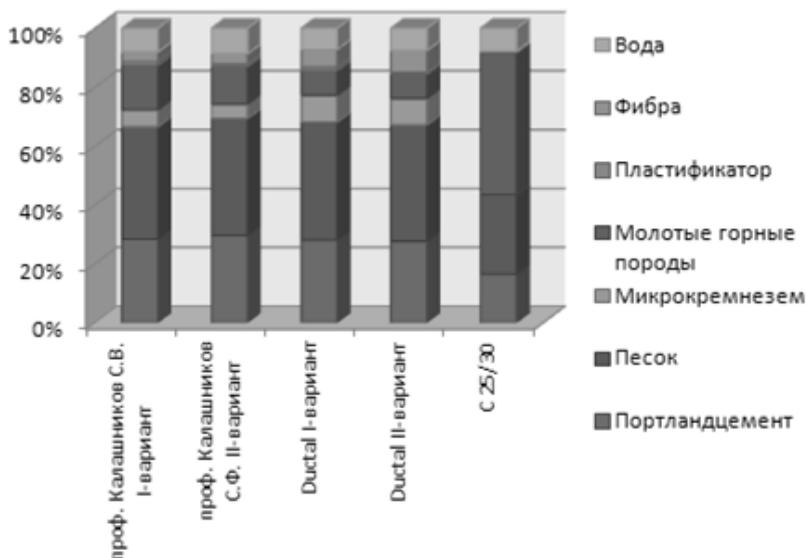


Рис. 1. Соотношение компонентов смеси

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.

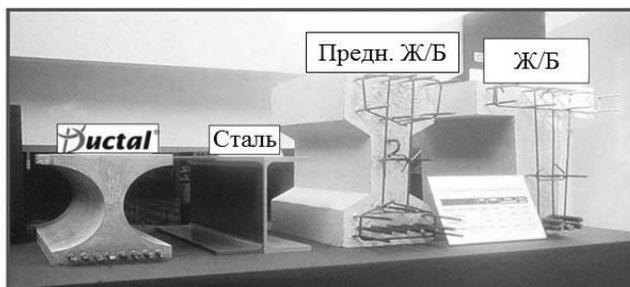


Рис. 2 Экономия материалов при использовании УНРС

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.