

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ БЕТОНОВ

Н.И. Нетеса, Д.В. Паланчук (Днепропетровск)

Главным достижением в материаловедческом познании сути проблем прочности бетонов явился отказ от представления о процессе их разрушения как мгновенном акте в момент достижения предельной нагрузки, которую они могут воспринять. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований было установлено, что процесс разрушения бетонов начинается задолго до исчерпания конструкциями из них несущей способности и предопределяется неоднородностью их структуры, а также неоднородным напряженно-деформированным состоянием, которое образуется в бетонах на этапе их создания. Следовательно, уже на начальной стадии приложения к бетонам эксплуатационных нагрузок и воздействий образуются весьма неоднородные, со значительной концентрацией в отдельных районах, поля напряжений и деформаций, которые, накладываясь на имеющиеся в нем, вызывают начальное микротрещинообразование.

Дальнейшее развитие микротрещин, которое, как и начальное микротрещинообразование, зависит, главным образом, от интенсивности поля растягивающих напряжений и деформаций, также существенно зависит не только от интенсивности возрастания эксплуатационных нагрузок и воздействий, но в большей мере от дефектности структуры, которая предопределяет интенсивность концентрации напряжений и деформаций.

Поэтому исследователи целенаправленно вели поиск таких технологических пределов (оптимальных составов и необходимых компонентов для них, способов и интенсивности перемешивания, режимов формования, тепловой обработки и др.), которые обеспечили бы создание рациональной структуры, исключающей в максимально возможной степени концентрацию напряжений и деформаций, особенно растягивающих.

Важнейшей, ключевой задачей бетоноведения является определение рациональных составов бетонов. От ее успешного решения зависят как важнейшие характеристики бетона, так и его экономичность. Поэтому проектированию составов бетонов посвящены многие работы [1-16]. Традиционные методы определения составов бетонов на основе закона водоцементного отношения не отвечают современным требованиям в связи со значительным увеличением применяемых в бетонах компонентов, которые обеспечивают их существенную модификацию. Разработанные В.А. Вознесенским и его школой кибернетические методы определения компромиссных составов, которые удовлетворяют многим требованиям по технологическим характеристикам бетонных смесей, физико-механическим характеристикам затвердевших бетонов, а также минимизации стоимости, позволяют решать эти важнейшие задачи бетоноведения [3, 4]. Попытки использовать современные компьютерные программы для проектирования составов бетонов [8, 12, 13] перспективны, но их существенный недостаток наличие сложных формул и

большое количество различных коэффициентов, которые затрудняют их применение в производственных условиях. Нам представляется, что метод определения состава бетона должен иметь четкий физический смысл, в частности обеспечивать плотную упаковку зерен компонентов. Определив такой зерновой состав компонентов, можно эффективно уточнять составы, используя современные компьютерные программы.

Проведенными нами ранее исследованиями установлены два основных критерия, выполняя которые можно обеспечить минимальную пустотность смеси, а следовательно, наиболее эффективное использование цемента. Первый – средний размер зерен ближайших фракций большей к меньшей должен составлять примерно 10:1, а для трехфракционной бетонной смеси крупной к средней и к мелкой: 100:10:1. Второй – соотношение объемов этих фракций для двухфракционной смеси крупной к мелкой равно 70:30, а для трехфракционной крупной к средней и к мелкой равно 52:23:25.

В составе мелкой фракции необходимо наряду с цементом учитывать мелкозернистую составляющую, которая вносится с заполнителями, а также дополнительно вводимую со вторичными мелкозернистыми продуктами промышленности. Если плотность зерен применяемых компонентов примерно равна, то это соотношение можно выдерживать по массе, но если отличается более чем на 20%, то, дозируя компоненты по массе, необходимо учитывать это отличие соответствующим коэффициентом. Решающее значение в обеспечении рационального зернового состава компонентов имеет соотношение объемов занимаемых каждой фракцией.

Для реализации этого принципа на начальном этапе определения расхода каждой составляющей необходимо проанализировать ее зерновой состав. К крупным фракциям целесообразно отнести зерна размером более 2,5 мм, к средним, которые прошли через сито с размером ячейки 2,5 мм, но не прошли через сито с размером ячейки 0,16 мм, а к мелким – мельче 0,16 мм.

Рассмотрим в качестве примера определение состава бетона с обеспечением рационального зернового состава компонентов на следующем примере. Содержание каждой из выделенных фракций используемых материалов, которое определялось по результатам отсева на стандартных ситах и отнесено к крупным, средним и мелким по установленному выше критерию, представлено в табл. 1.

Таблица 1

Содержание фракций в используемых материалах

Применяемый материал	Содержание фракций, %		
	крупной	средней	мелкой
Щебень	$K_{щр} = 96,2$	$C_{щр} = 2,8$	$M_{щр} = 1,0$
Песок	$K_{пр} = 1,0$	$C_{пр} = 90,2$	$M_{пр} = 8,8$
Гранотсев (табл. 2.3)	$K_{гор} = 25,55$	$C_{гор} = 59,15$	$M_{гор} = 15,3$

Анализ представленных в табл. 1 характеристик зерновых составов компонентов бетонной смеси позволяет сделать следующие предварительные выводы. Ни один из них не может обеспечить рациональный зерновой состав бетонной смеси. Поэтому необходимо использовать смесь нескольких из них.

Гранотсев имеет 59,15% зерен средней фракции ($C_{гор}$), поэтому его долевое содержание ($ГО_d$) в составе трехкомпонентной бетонной смеси, обеспечивающее необходимое количество средней фракции (23%) в бетонной смеси составит:

$$ГО_d = 23 / (C_{гор}/100) = 23/0,59 = 39.$$

Долевое содержание крупного компонента ($K_{год}$), которое будет внесено с гранотсевом, можно определить, зная его процентное содержание в гранотсеве (25,55% см. 1):

$$K_{год} = GO_d \times K_{гор} = 39 \times 25,55 / 100 = 9,96.$$

Долевое содержание мелкого компонента ($M_{год}$), которое будет внесено с гранотсевом, также определяется по его процентному содержанию в гранотсеве (15,3% см. табл. 1):

$$M_{год} = GO_d \times M_{гор} = 39 \times 15,3 / 100 = 5,97.$$

Недостающее количество крупной фракции необходимо обеспечить введением щебня. Долевое содержание щебня ($Щ_d$) в составе трехкомпонентной бетонной смеси, обеспечивающее необходимое количество крупной фракции (52%) в бетонной смеси с учетом содержащейся доли крупной фракции в гранотсеве 9,96 составит:

$$Щ_d = (52 - 9,96) / (K_{щр} / 100) = 42,04 / 0,962 = 43,7.$$

Долевое содержание среднего компонента ($C_{щд}$), которое будет внесено со щебнем, определяется по его процентному содержанию в щебне (2,8% см. 1):

$$C_{щд} = Щ_d \times C_{щр} = 43,7 \times 2,8 / 100 = 1,2.$$

Поскольку это долевое содержание среднего компонента в щебне находится в пределах возможного изменения зернового состава, как щебня, так и гранотсева, то можно долевое содержание гранотсева уменьшить на 1,5 до 37,5 с учетом также наличия незначительного количества мелкозернистого компонента, вносимого со щебнем.

Таким образом, для обеспечения вышеприведенного рационального соотношения трехфракционной смеси крупного, среднего и мелкого компонентов 52:23:25 необходимо использовать 43,7 долей (%) щебня, 37,5 долей (%) гранотсева. Вместе с гранотсевом будет внесено 6 долей (%) мелкозернистой составляющей, следовательно, необходимо в такой состав еще внести 18,8 долей (%) цемента либо цемента с наполнителем, например золой или хвостами обогащения железных руд.

Содержание каждой составляющей (номинальный состав бетонной смеси) определим из условия, что в кубометре бетонной смеси суммарная масса сухих компонентов составит 2250 кг. Поскольку вышеприведенное долевое содержание щебня (Щ), гранотсева (ГО), цемента и наполнителя (Ц+Н) составляет: Щ:ГО:(Ц+Н) = 43,7:37,5:18,8, то расход каждой составляющей легко рассчитать. Необходимо щебня $Щ = 2250 \times 0,437 = 983$ кг, гранотсева $ГО = 2250 \times 0,375 = 844$ кг, цемента и наполнителя $(Ц+Н) = 2250 \times 0,188 = 423$ кг.

Если необходимо получать бетоны различной прочности из вышеприведенных компонентов, то расход щебня и гранотсева надо оставлять неизменным, чтобы обеспечивать рациональный зерновой состав компонентов, следовательно, плотную упаковку зерен и наиболее эффективное использование цемента. Менять надо расход цемента, принимая не более 423 кг на кубометр бетонной смеси. Но, уменьшая расход цемента, надо недостающую часть мелкозернистого компонента компенсировать требуемым количеством золы или хвостов обогащения железных руд. Суммарный их расход должен составлять 423 кг на кубометр бетонной смеси.

Дальнейшее определение составов бетонов необходимо проводить экспериментально-расчетным методом в зависимости от требуемой удобоукладываемости бетонной смеси, прочности и других физико-механических характеристик затвердевшего бетона, качества используемого цемента, химических добавок и некоторых других конкретных условий. Но расход щебня и гранотсева надо

оставлять неизменным, чтобы не нарушать рациональный зерновой состав компонентов, а следовательно, обеспечивать эффективное использование цемента.

Вышеприведенный алгоритм расчета необходимого содержания каждого из компонентов бетонной смеси приемлем, если можно выделить один из вторичных продуктов промышленности, в котором содержатся крупная, средняя и мелкая фракции. Но если таких компонентов несколько, то аналитический расчет состава по вышеприведенной методике затруднен. В таком случае можно применить графический метод с использованием треугольника Фере [11].

Литература.

1. Баженов Ю.М. Способы определения состава бетона различных видов. – М.: Стройиздат, 1975. – 272 с.
2. Боженков П.И., Аллик А.Р., Несмиянова В.В. Рациональный подбор смеси заполнителей – эффективный способ снижения расхода цемента в бетоне // Применение бетона и железобетона в строительстве. – Л.: Стройиздат, 1981. – С. 7-10.
3. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. Методы компьютерного материаловедения в технологии бетона // Будівельні конструкції. Сучасні проблеми бетону та його технологій. – К.: НДБК. – 2002. – с. 217-226.
4. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков В.Л. Численные методы решения строительско-технологических задач на ЭВМ. – К.: Вища школа, 1989. – 325 с.
5. Волженский А.В., Иванов И.А., Виноградов Б.Н. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1984. – 254 с.
6. Грушко И.М., Лишанский Б.А., Пузырева Н.П. Подбор и оптимизация составов тяжелого бетона // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1981. - № 3. – С. 77-81.
7. Гусев Б.В., Зазимко В.Г., Нетеса М.И. Исследование напряженно-деформированного состояния композитов с использованием метода конечных элементов. // Строительство и архитектура. Известия высших учебных заведений. – 1981. - №8. – С. 13-16.
8. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Проектирование составов бетона с заданными свойствами. – Ровно: Изд-во РДТУ, 1999. – 202 с.
9. Инструкция по расчету состава и контролю прочности высокопрочных бетонов: Утв. Госстроем СССР 05.04.68: срок действия с 01.01.69. – М.: Стройиздат, 1968. – 73 с.
10. Москвин В.Н., Тринкер Б.Д. Подбор состава бетона с учетом поверхности и пустотности заполнителей // Исследования. Бетоны и вяжущие. – М.: Госстройиздат. – 1955. – С. 150-167.
11. Нетеса Н.И. Графический метод подбора рациональных зерновых составов бетонных смесей // Будівництво. – Вип. 10. – Дніпропетровськ: ДІПТ. – 2002. – С. 16-21.
12. Пунагин В.Н. Основы проектирования составов бетона. – Ташкент: Узбекистан, 1983. – 152 с.
13. Пунагін В.Н., Пшінько О.М., Руденко Н.М. Проектування складів гідротехнічного бетону. – Д.: Арт-Прес, 1998. – 192 с.
14. Руководство по подбору состава тяжелого бетона. – М.: Стройиздат, 1979. – 103 с.
15. Рекомендации по проектированию составов тяжелого (обычного) бетона. – Ташкент: Госстрой УзССР, 1982. – 62 с.
16. Сизов В.П. Проектирование состава тяжелого бетона. – М.: Стройиздат, 1979. – 144 с.