

## ЭФФЕКТИВНЫЕ СОСТАВЫ БЕТОНОВ ДЛЯ ПЛИТ ПУСТОТНОГО НАСТИЛА НЕПРЕРЫВНОГО ФОРМОВАНИЯ

Розглянуто можливості використання місцевих матеріалів для виготовлення плит пустотного настилу та інших попередньо напружених збірних елементів методом безперервного формування. Однією з основних особливостей цієї технології є необхідність використання жорстких бетонних сумішей. З цих сумішей необхідно отримати бетони достатньої міцності, які повинні виключити можливість проковзування попередньо-напруженого арматурного дроту.

Рассмотрены возможности использования местных материалов для производства плит пустотного настила и других предварительно напряженных сборных элементов методом непрерывного формования. Одной из основных особенностей этой технологии является необходимость использования жестких бетонных смесей. Из этих смесей необходимо получить бетоны достаточной прочности, исключающие возможность проскальзывания преднапряженной арматурной проволоки.

The article considers opportunities of local materials use for manufacture of hollow flooring plates and other pre-stressed modular elements by the method of continuous formation. One of the basic features of this technology is a necessity of use of rigid concrete mixes. Out of these mixes there should be obtained concretes of sufficient strength, excluding possibility of sliding through of the pre-stressed wire.

В последние годы наметилась тенденция возрождения заводского производства сборных железобетонных элементов в России [1]. Особенно эффективно производство плит пустотного настила и некоторых других изделий преднапряженного железобетона методом непрерывного безопалубочного формования. Эта технология позволяет получить экономичные сборные элементы с низким удельным расходом арматуры при высокой производительности труда. Существенным преимуществом этой технологии является также высокое надежно контролируемое качество таких изделий. Особенно эффективно применение таких изделий при строительстве каркасных безригельных зданий. Удельный расход арматуры на единицу площади в них сокращается в два и более раз по сравнению с аналогичным монолитным вариантом. Существенно сокращаются также сроки строительства, уменьшается материалоемкость.

Производство сборных изделий по таким современным технологиям в сочетании с эффективными технологиями возведения обеспечивает значительный экономический эффект по сравнению с традиционным возведением монолитных и кирпичных зданий. Строительство каркасных безригельных зданий с использованием плит пустотного настила, изготовленных методом непрерывного формования, показывает, что эта технология в недалеком будущем будет использована и в нашей стране.

Необходимо определить возможности получения бетонных смесей из местных строительных материалов, обеспечивающие требуемые технологические характеристики бетонной смеси и необходимые физико-механические характеристики затвердевшего бетона. При этом важно обеспечить низкую энергоемкость и стоимость как бетонной смеси, так и технологии в целом.

Для производства плит пустотного настила методом непрерывного безопалубочного формования необходимо использовать бетонные смеси жесткостью около 90 сек. Такие смеси должны удерживать форму изделия непосредственно после завершения вибровоздействия на бетонную смесь. Поэтому такие смеси должны иметь хороший каркас из рационально подобранного зернового состава компонентов. Минимально необходимый расход цемента требуется не только из условий снижения энергоемкости и стоимости смеси, но также и для обеспечения формообразования при изготовлении плит методом непрерывного формования. Средняя прочность бетона в таких плитах должна быть около 40 МПа.

Нам представляется, что при подборе составов бетонных смесей целесообразно использовать накопленный нами опыт определения составов из условий минимальной пустотности с введением необходимого количества вторичных мелкозернистых продуктов промышленности [2; 3]. При его реализации можно получить

жесткий каркас из минерального скелета при минимальном расходе цемента. Кроме обеспечения требуемых характеристик бетонной смеси, из нее можно получить также затвердевший бетон с низкой усадкой и ползучестью, что исключит потерю преднапряжения применяемой для производства плит пустотного настила высокопрочной проволоки.

Целенаправленную модификацию зернового состава бетонных смесей осуществляли микро-наполнителями, в качестве которых использованы, главным образом, кремнеземсодержащие мелкозернистые материалы. По сути, эти материалы применялись для модификации традиционно применяемых бетонных смесей на основе гранитного щебня, речного днепровского песка, а также портландского и шлакопортландского цемента. На этапе проведения исследований нами проверялся зерновой состав каждой составляющей. Так, к крупной фракции нами отнесен применяемый в экспериментах щебень фракции 5...20 мм со средневзвешенным размером зерен этой фракции около 10 мм. Незначительное количество находящейся в составе этого щебня более мелкой фракции, масса которой не превышала 2–3 %, учитывалась в более мелких фракциях. В качестве средней фракции применялся речной песок, основная масса зерен которого имеет размер 0,3...0,6 мм, т. е. средневзвешенный размер примерно 0,4 мм. Следовательно, соотношение между средними размерами зерен этих фракций около 25. Такое соотношение значительно больше, чем то, при котором нами проводились предыдущие экспериментальные исследования. Однако при использовании влажных смесей расслоения этих компонентов не наблюдается, а, как показали наши предыдущие исследования, при таком соотношении фракций пустотность двухфракционных смесей несколько меньше, чем при соотношении равном 10.

В качестве наиболее мелкой фракции применялся цемент, и имеющий такую же тонину помола наполнитель со средним диаметром зерен в пределах 60...70 мкм. Следовательно, соотношение диаметров зерен средней фракции к мелкой составляло около 6. Это соотношение меньше, чем применялось в предыдущих экспериментах для поиска рационального зернового состава, обеспечивающего пониженную пустотность смеси. Однако, как показали наши предыдущие исследования, и при соотношении средних размеров зерен компонентов равном 6 наблюдается существенное снижение пустотности при рациональном их количественном со-

отношении. Поэтому, несмотря на то, что при большем соотношении средних и мелких размеров зерен компонентов снижение пустотности более существенно, мы вынуждены были ограничиться имеющимися компонентами. Такое решение связано с тем, что в большинстве регионов Украины в бетонах используется мелкий речной песок. Доизмельчать же наиболее мелкую составляющую энергоемко и дорого. Поэтому мы ограничились использованием в экспериментальных исследованиях наиболее широко применяемых для получения бетонов материалов.

Из проверенных в предварительных исследованиях наполнителей нами в дальнейших экспериментальных исследованиях основное внимание уделено хвостам обогащения железных руд. Эти материалы содержат серы и радионуклидов меньше, чем ППФ и золы уноса. А их главное преимущество в том, что на их измельчение нет необходимости тратить значительное количество энергоносителей, операция по доизмельчению вообще не нужна. Значительные запасы хвостов обогащения железных руд в отвалах дают возможность использовать их без дополнительной переработки. Их транспортирование, хранение, введение в бетоносмеситель может осуществляться практически так же, как и заполнителей для бетонов.

В качестве примера в таблице представлены составы и результаты испытаний контрольных образцов бетона в 28-суточном возрасте нормального твердения с различными расходами цемента. В качестве наполнителя использованы хвосты обогащения железных руд, 90 % зерен которых соизмеримы с размером зерен цемента. Применялся также шлакопортландцемент криворожского завода активностью 40 МПа, гранитный щебень максимальной крупностью 20 мм и днепровский песок с модулем крупности 1,45.

Анализ представленных в таблице результатов исследований показывает, что при одинаковом расходе цемента значительно более высокая прочность, а следовательно, и коэффициент эффективности использования цемента, наблюдается при обеспечении рационального зернового состава компонентов бетонной смеси. Эта закономерность наблюдается как при введении суперпластификатора, так и без него. В составах № 1 и 2 коэффициент эффективности использования цемента незначительно превышает единицу. А в составах № 6–9 при таком же расходе цемента, но с рациональным зерновым составом компонентов, который обеспечивается введением необходимого количества

наполнителя, коэффициент эффективности использования цемента больше почти в полтора раза. Прочность бетона из этих составов достигает 40 МПа, следовательно, можно обеспечить класс бетона В 30, который необходим для плит пустотного настила, изготавливаемых методом непрерывного формования. Примерно такую же прочность бетона из смесей с одина-

ковой удобоукладываемостью без наполнителя можно получить при расходе цемента примерно на 100 кг/м<sup>3</sup> больше (см. состав № 3). Но еще более высокую прочность можно получить из состава с таким же расходом цемента и дополнительном введении необходимого для обеспечения рационального зернового состава компонентов наполнителя (см. состав № 10).

Таблица

**Составы и результаты испытания контрольных образцов бетона с варьированием наполнителя из хвостов обогащения железных руд**

№ состава	Расход материалов на м <sup>3</sup> , кг						Удобоуклад.	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Прочн. R <sub>б</sub> МПа	10R <sub>б</sub> /Ц
	Ц	Н	Щ	П	В	ПФС, %		свежеотформ.	затвердевш.		
1	250	–	1 200	750	140	–	70с	2 338	2 317	29,2	1,17
2	250	–	1 250	750	130	0,5	85с	2 325	2 310	25,8	1,03
3	375	–	1 250	625	115	0,5	88с	2 350	2 328	47,1	1,26
4	500	–	1 250	500	130	0,5	110с	2 407	2 385	61,5	1,23
5	375	–	1 200	750	135	–	60с	2 455	2 428	57,58	1,53
6	250	250	1 200	550	135	–	80с	2 377	2 351	43,0	1,72
7	250	125	1 250	625	115	0,5	70с	2 353	2 345	41,0	1,64
8	250	250	1 250	500	120	0,5	92с	2 372	2 365	43,2	1,73
9	250	250	1 200	550	140	–	52	2 390	2 340	37,5	1,5
10	375	125	1 200	550	140	–	65	2 395	2 350	58,0	1,55
11	375	125	1 250	500	130	0,5	85с	2 387	2 369	53,5	1,43

Визуальными наблюдениями установлено, что бетонная смесь имеет наилучшие технологические характеристики при расходе наполнителя, необходимом для обеспечения рационального зернового состава компонентов и пластификатора 0,5 % от массы цемента. Ни один из этих компонентов в отдельности не может обеспечить такие же хорошие удобоукладываемость и нерасслаиваемость бетонной смеси, отсутствие водоотделения, хорошее и быстрое заполнение формы. После прекращения вибродействия образцы удерживают форму при немедленной распалубке, следовательно, такие составы могут применяться для технологии непрерывного формования. Образцы из такой смеси имеют хорошую гладкую поверхность.

### Выводы

1. Использование наполнителя из хвостов обогащения железных руд для обеспечения рационального зернового состава компонентов бетонной смеси позволяет получить требуемые технологические характеристики бетонной смеси для линии безопалубочного формования плит пустот-

ного настила и других изделий. При этом можно экономить около 100 кг цемента на кубометр бетона без снижения требуемой прочности бетона.

2. Требуются дальнейшие исследования по определению упругих характеристик затвердевшего бетона, полученного из смесей с рациональным зерновым составом компонентов, а также его усадки и ползучести, потерь преднапряжения арматурной проволоки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уткин В. Л. Новые технологии строительной индустрии. – М.: Русский Издательский Дом, 2004. – 116 с.
2. Нетеса Н. И. Проблемы экономии цемента в бетонах введением рационального количества микронаполнителей // Строительство, материаловедение, машиностроение // Сб. науч. тр. – Д.: ПГАСиА, 2001. – №12. – С. 301–305.
3. Нетеса Н. И. Влияние зернового состава компонентов на структуру, прочность и морозостойкость бетонов // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Д.: ПГАСиА, 2002. – №. 16. – С. 100–107.

Поступила в редколлегию 17.09.2005.