

Исследование самоуплотняющегося бетона для производства железобетонных изделий на универсальном стенде с переставной опалубкой

М.О. Коровкин, Д.М. Гринцов, Н.А. Ерошкина

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза

Аннотация: Рассмотрены преимущества применения самоуплотняющегося бетона в технологии сборных железобетонных конструкций, которые изготавливаются на стендах с переставной опалубкой. С учетом значительных потерь тепла на прогрев изделий в этой технологии исследованы бетоны, которые твердеют при низких температурах прогрева. Показано, что самоуплотняющиеся бетоны с расходами цемента 330-450 кг/м³ набирают прочность 20-35 МПа за 16-20 часов при низкотемпературном прогреве.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, стендовая технология, переставная опалубка, дисперсный наполнитель, суперпластификатор, тепловая обработка, прочность.

Как показывает опыт развития строительной индустрии в промышленно развитых странах, внедрение технологии самоуплотняющихся бетонов позволяет значительно повысить качество бетонных работ, снизить их трудоемкость и улучшить условия труда [1, 2]. В России эта технология пока не получила распространения по ряду экономических и организационных причин. Однако постепенное повышение оплаты труда строительных рабочих приведет к более широкому использованию этой новой разновидности бетона.

Применение самоуплотняющегося бетона в заводской технологии сборных железобетонных конструкций имеет некоторые преимущества в сравнении с использованием таких бетонов в монолитном варианте строительства [3-5]. В частности, с точки зрения улучшения условий труда, снижение уровня шума и вибрации в условиях замкнутого пространства заводского цеха имеет намного больший эффект, чем в условиях строительной площадки. Кроме того, продолжительность транспортировки бетонной смеси в заводских условиях на порядок ниже, чем время доставки

смеси от бетоносмесительного цеха на строительную площадку, что снижает риск потери подвижности бетонной смеси или ее «переразжижения» в результате увеличения пластифицирующего эффекта, которое может произойти при использовании поликарбоксилатных суперпластификаторов.

В последние годы для производства малых серий и отдельных железобетонных изделий все чаще применяются стенды с переставной опалубкой, что позволяет отказаться от металлоемких форм и снизить себестоимость производства.

Применение переставной опалубки с магнитными фиксаторами совместно с дополнительной опалубкой из пиломатериала или фанеры позволяет выпускать широкую номенклатуру изделий: железобетонные сваи, ригели и колонны, перемычки, балконные плиты, опорные подушки, фундаментные блоки, дорожные плиты и бортовые камни и др.

Стендовая технология с применением переставной опалубки имеет ряд недостатков, к числу которых можно отнести высокую трудоемкость установки опалубки и уплотнение бетона, большие потери тепла на прогрев изделий, что связано со значительной площадью стенда и малоэффективными методами снижения тепловых потерь, которые в основном предотвращают только потерю влаги из бетона. Расчеты показывают, что значительное снижение тепловых потерь может быть достигнуто при использовании бетона, способного набирать прочность при низкотемпературном прогреве в течение 16-20 часов.

Важным фактором снижения эффективности производства на стенде с переставной опалубкой является большая трудоемкость уплотнения бетонной смеси. Даже при использовании подвижных бетонных смесей их надежное уплотнение достигается за счет достаточно продолжительного воздействия глубинными вибраторами на уложенную в опалубку бетонную смесь. С учетом большого объема изделий на стенде уплотнение смеси –

одна из наиболее продолжительных и трудоемких операций этого способа производства.

Снижение трудоемкости бетонных работ может быть достигнуто за счет использования самоуплотняющихся бетонов, технология которых основана на введении в состав бетона двух дополнительных компонентов – высокоэффективных суперпластификаторов и тонкого наполнителя (инертной минеральной добавки) или высокоактивных пуццолановых добавок, таких, как микрокремнезем, зола-унос [1, 2]. В качестве тонкого наполнителя используются дисперсные отходы дробления горных пород [6, 7, 8] или отходы других производств [9]. Для предотвращения расслоения самоуплотняющихся бетонных смесей в их состав могут дополнительно вводиться модификаторы вязкости [10].

Экспериментальная оценка возможности использования самоуплотняющегося бетона в условиях низкотемпературного прогрева при стендовой технологии проводилась на бетонных смесях, изготовленных на основе цемента ЦЕМ-I 42,4 производства ООО «Азия цемент». Для приготовления бетона применялись: доломитовый щебень фр. 5-10 мм с плотностью 2840 кг/м³ и пустотностью 49 %; песок Сурского месторождения с модулем крупности 1,51; отсев дробления доломитового щебня фр. 0,63-5 мм. В качестве инертной минеральной добавки была использована дисперсная фракция отсева дробления щебня с размерами частиц менее 0,16 мм, а в качестве пластифицирующей добавки – Glenium SKU 591.

Для оценки консистенции растворной составляющей бетона использовался конус Хегерман (форма-конус по ГОСТ 310.4-81), а удобоукладываемость бетонной смеси оценивалась по распылу конуса Абрамса.

Прочностные характеристики определялись на образцах размером 40×40×160 мм. Образцы твердели по режиму: выдержка при температуре 20

°С – 8 часов; нагрев до температуры 50 °С – 2 часа; выдержка при 50 °С – 5 или 9 часов, остывание – 1 час.

На первом этапе работы было исследовано влияние двух факторов – водоцементного отношения и доли замещения цемента доломитовой мукой – на свойства растворной составляющей бетона. Для исследования был выбран центральный композиционный трехуровневый план. Исследованные составы и их свойства представлены в таблице № 1.

Таблица № 1

Составы и свойства растворной составляющей бетона

Наименование компонента	Расход компонентов смеси для различных составов, г/дм ³								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Отсев	139	141	143	275	281	285	419	429	289
Цемент	737	747	759	602	614	624	480	491	631
Песок	1127	1143	1160	1117	1140	1159	1134	1161	1173
СП	6,2	6,3	6,4	6,2	6,3	6,4	6,3	6,4	6,5
Вода	280	270	259	279	265	253	262	244	244
Свойства									
Расплав, мм	281	286	294	298	289	307	291	246	276
R ₁₆ , МПа	25,6	26,0	30,8	19,6	22,0	25,2	15,2	18,0	25,6
R ₂₀ , МПа	28,0	30,4	35,2	21,2	26,0	28,0	20,8	21,2	31,2

Расплавы всех исследованных составов превышали нижнюю границу растекаемости растворной составляющей для самоуплотняющихся смесей – 280 мм (см. табл. 1). Исключение составил только состав № 3 с низким расходом воды и высокой долей доломитовой муки в цементе. В составе № 6 были отмечены признаки водоотделения.

Прочность почти всех составов через 16 часов тепловой обработки R_{16} находилась в интервале от 20 до 30 МПа, а по истечении 20 часов прогрева прочность бетона R_{20} возросла на 2-5 МПа.

Исследование влияния состава бетона на его свойства было проведено с применением полного двухфакторного плана. В качестве первого фактора была выбрана доля замещения цемента доломитовой мукой, а в качестве второго фактора – коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя. Исследованные составы и их свойства приведены в таблице № 2.

Таблица № 2

Исследованные составы бетона и их свойства

Наименование компонента смеси	Расход компонентов смеси			
	1	2	3	4
Щебень, кг/м ³	894	753	894	753
Песок, кг/м ³	697	747	694	744
Отсев фр.2,5-5 мм, кг/м ³	102	110	102	109
Цемент, кг/м ³	424	457	333	357
Вода, л/м ³	182	196	182	195
Доломитовая мука, кг/м ³	182	196	273	292
СП, кг/м ³	5,2	5,5	5,1	5,5
Значение факторов				
Доля доломитовой муки в цементе, %	30	30	45	45
Коэффициент раздвижки зерен	2,2	2,8	2,2	2,8
Свойства				
Распływ смеси, мм	574	630	593	616
R_{16} , МПа	32,3	25,0	16,4	12,8
R_{20} , МПа	35,1	31,2	24,1	16,8

Как видно из данных в таблице № 2, доля замещения цемента доломитовой мукой не влияет на удобоукладываемость смесей. В то же

время прочностные характеристики бетонов в большей степени зависят от количества каменной муки.

Оценка прочности бетона показывает, что в исследованных составах может быть достигнута прочность 20-35 МПа, чего достаточно для получения бетона, необходимого для производства значительной доли железобетонных конструкций.

Результаты проведенных исследований показывают, что при использовании самоуплотняющихся бетонов возможно получение прочностей от 20 до 35 МПа при тепловой обработке в течение 16-20 часов при температуре 50°C. Использование таких бетонов в производстве железобетонных изделий на стенде с переставной опалубкой может значительно повысить эффективность этой технологии.

Литература

1. Оучи М. Самоуплотняющиеся бетоны: разработка, применение и ключевые технологии // Бетон на рубеже третьего тысячелетия: Труды 1-й Всероссийской конференции по бетону и железобетону. – М.: Готика, 2001. С. 209-215.
2. Okamura H.M., Ouchi M. Self-compacting concrete // Journal of Advanced Concrete Technology. 2003. Vol. 1, No. 1. pp. 5-15.
3. Cazacu N., Bradu A., Florea N. Self-compacting concrete in building industry // Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy. 2016. Vol. 62 (66), No. 1. pp.85-94.
4. Bakhtiarian A.H., Shokri M., Sabour M.R. Application of Self-Compacting Concrete, Worldwide Experiences // 5th Symposium on Advances in Sciences and technology. Mashhad: Khavaran Higher-education Institute, Mashhad, 2011. May 12-14. 8 p.

5. Kamal M.M., Safana M.A., Bashandy A., Khalil A.M. Experimental investigation on the behavior of normal strength and high strength self-curing self-compacting concrete // Journal of Building Engineering. 2018. Vol. 16. pp. 79-93.

6. Калашников В.И. Промышленность нерудных строительных материалов и будущее бетонов // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 20-23.

7. Морозов Н.М., Авксентьев В.И., Боровских И.В., Хозин В.Г. Применение отсевов дробления щебня в самоуплотняющихся бетонах // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 7 (42). С. 26-31.

8. Касторных Л.И., Тароян А.Г., Усепян Л.М. Влияние отсева камнедробления и минерального наполнителя на характеристики мелкозернистых самоуплотняющихся бетонов // Инженерный вестник Дона, 2017, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4340.

9. Коровкин М.О., Шестернин А.И., Ерошкина Н.А. Использование дробленого бетонного лома в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона // Инженерный вестник Дона, 2015, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3090.

10. Касторных Л.И., Скиба В.П., Елсуфьев А.Е. Об эффективности использования модификатора вязкости в самоуплотняющихся бетонах // Инженерный вестник Дона, 2017, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4346.

References

1. Ouchi M. Beton na rubezhe tret'yego tysyacheletiya: Trudy 1-y Vserossiyskoy konferentsii po betonu i zhelezobetonu [Concrete at the Turn of the Third Millennium: Works of the 1st Russian Conference on the Problems of Concrete and Reinforced Concrete]. M.: Gotika, 2001. pp. 209-215.

2. Okamura H.M., Ouchi M. Journal of Advanced Concrete Technology. 2003. Vol. 1, No. 1. pp. 5-15.



3. Cazacu N., Bradu A., Florea N. Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy. 2016. Vol. 62 (66), No. 1. pp. 85-94.
4. Bakhtiarian A.H., Shokri M., Sabour M.R. 5th Symposium on Advances in Sciences and technology. Mashhad: Khavaran Higher-education Institute, Mashhad, 2011. May 12-14. 8 p.
5. Kamal M.M., Safana M.A., Bashandy A., Khalil A.M. Journal of Building Engineering. 2018. Vol. 16. pp. 79-93.
6. Kalashnikov V.I. Stroitel'nyye materialy. 2008. № 3. pp. 20-23.
7. Morozov N.M., Avksent'yev V.I., Borovskikh I.V., Khozin V.G. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2013. № 7 (42). pp. 26-31.
8. Kastornykh L.I., Taroyan A.G., Usepyan L.M. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4340.
9. Korovkin M.O., Shesternin A.I., Eroshkina N.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3090.
10. Kastornykh L.I., Skiba V.P., Elsufo'yev A.E. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4346.