

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Реологические особенности самоуплотняющихся бетонных смесей позволяют осуществлять процесс укладки в опалубочные формы без механического воздействия. Такие бетонные смеси отличаются содержанием ограниченного количества крупного заполнителя, высокой дозировкой гиперпластификатора и обязательным добавлением комплексных минеральных микрозаполнителей. Особенностью является и то, что показатель осадки конуса, который превышает 25 см, не может более служить определяющим индексом смеси. В связи с чем применяют дополнительные испытания, приведенные здесь на основании Европейского стандарта EN12350.

Ключевые слова: самоуплотняющиеся бетонные смеси, гиперпластификатор, микрозаполнитель, вязкость, распыл конуса

Применение в строительном производстве самоуплотняющихся бетонов (СУБ) является новым этапом в технологии железобетона. Самоуплотняющиеся бетонные смеси в процессе укладки в опалубочные формы уплотняются под действием собственной массы без применения механического воздействия. Их отличительной особенностью является проектирование состава на основании двух технологических принципов [1]:

- применение супер- и гиперпластификаторов, которые придают смеси высокую степень подвижности с повышенной дозировкой;
- использование комплексных минеральных добавок для обеспечения нераслаиваемости и специальных свойств бетонной смеси.

Остальные компоненты - цемент, щебень, песок используются такие же, как при изготовлении обычных бетонов. Самоуплотняющиеся бетонные смеси впервые начали применять в Японии и получили распространение в западных странах. Такие бетонные смеси отличаются ограниченным количеством крупного заполнителя, высокой дозировкой гиперпластификатора и обязательным добавлением в смеси комплексных минеральных микрозаполнителей с оптимальным зерновым составом. Содержание цемента в мелкодисперсной составляющей при водотвердом отношении 0,9...1,0 составляет порядка 30 % по массе. При этом, содержание песка от объема цементно-песчаного раствора составляет около 40 %, а щебня от объема бетонной смеси-50 %. Самоуплотнение обеспечивается за счет регулирования водотвердого отношения и повышенной дозировки гиперпластификатора. В таком случае расслоение бетонной смеси и задержка щебня при ее течении через арматурные препятствия отсутствуют. Это объясняется высокой вязкостью матрицы растворной части бетонной смеси.

Оптимальное водоцементное отношение порядка 0,25...0,40 способствует предотвращению первоначальных дефектов при формировании структуры и обеспечивает высокую плотность и прочность бетона до 70...100 МПа. Через одни сутки бетон нормального твердения может приобрести прочность до 50 МПа и более, что позволяет производить распалубку железобетонных конструкций и существенно повысить оборачиваемость опалубки [2].

В связи с тем, что для самоуплотняющихся бетонных смесей осадок конуса (ОК) превышает 25 см, то он не может больше служить определяющим индексом реологии бетонной смеси. Поэтому в настоящее время европейские страны применяют дополнительные испытания для самоуплотняющихся бетонных смесей согласно новым стандартам EN12350, которые лучше характеризуют их реологические свойства. Эти классы консистенции приведены ниже [3]:

- 1) по расплыву – SF;
- 2) вязкости -VS и VF;
- 3) проходимости - PL и PJ;
- 4) расслаиваемости - SR.

Класс по расплыву конуса определяется при помощи обычного стандартного конуса, только при испытании бетонной смеси конус устанавливается вверх дном (рис.1). После заполнения бетонной смесью конус поднимается вертикально вверх, а бетонная смесь расплывается на поддоне. При этом, класс по расплыву конуса определяется путем измерения диаметра расплыва в мм и времени растекания до диаметра 500 мм (t_{500}) в секундах.

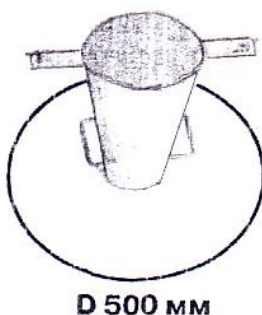
Класс по рас- плыву	Диаметр, мм	
SF1	550 - 650	
SF2	660-750	
SF3	760-850	
Класс вязкости	Время t_{500} , с	
VS1	< 2	
VS2	≥ 2	

Рис. 1. Определение расплыва конуса

Класс по вязкости определяется методом испытания с помощью V-образного конуса, (рис. 2), путем измерения времени растекания бетонной смеси объемом 12 л из заполненной воронки.

t

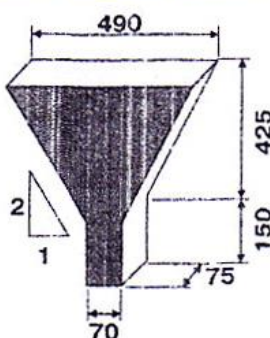
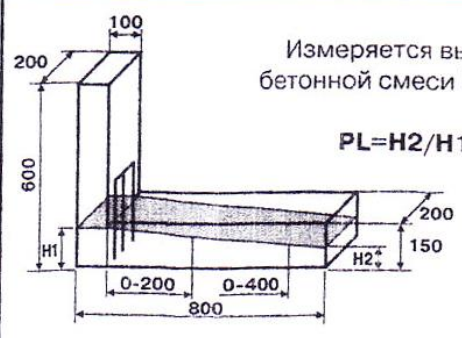
Класс вязкости	Время, с	
VF1	< 9	
VF2	9...25	

Рис. 2. Определение вязкости бетонной смеси

Метод испытания производится заполнением V-образного конуса без уплотнения, затем открывают нижнее отверстие и фиксируют время вытекания всего объема бетонной смеси t_0 . Потом выдерживают смесь в течении 5 мин и вновь помещают в V-образный конус и повторяют испытание, замеряя время истечения t_5 . Увеличение времени вытекания показывает увеличение водоотделения. Исходя из полученных результатов, рассчитывают среднюю скорость истечения V_m и показатель S_f :

$$V_m = \frac{0,01}{(0,065 \cdot 0,075) \cdot t_0} = \frac{2,05}{t_0} \quad S_f = \frac{t_s - t_0}{t_0}$$

Класс по проходимости бетонной смеси определяется в L-образном ящике, которая приведена на рис. 3.

Класс	Проходимость	 Измеряется высота бетонной смеси H1 и H2 $PL = H2/H1$
PL1 ¹⁾	$\geq 0,8$ для двух арматурных стержней	
PL2 ²⁾	$\geq 0,8$ для трех арматурных стержней	

¹⁾ Для шага арматуры в конструкции 80...100 мм
²⁾ Для шага арматуры 60...80 мм
 Дополнительно может измеряться время достижения бетоном высоты 200 и 400 мм – T_{20} и T_{40} , позволяющее говорить о заполняющей способности

Рис. 3. Определение проходимости бетонной смеси L-образным прибором

Между вертикальной и горизонтальной частями прибора расположены два или три арматурных стержня $\varnothing 12$ мм и заслонка в виде гильотины. После укладки бетонной смеси в отверстия в два слоя производят трамбовку каждого слоя 5 раз. При открытии заслонки испытываемая бетонная смесь начинает перетекать в горизонтальную часть прибора, где установлены инфракрасные или ультразвуковые датчики на расстоянии 20 и 40 см от отверстия, для измерения времени достижения смеси отметок 20 и 40 см (T_{20} и T_{40}), что позволяет рассчитывать скорость истечения. После прекращения истечения измеряют высоту бетонной смеси **H1** и **H2** и определяют **PL=H2/H1**. Указанный метод позволяет оценить усилие среза и вязкость бетонной смеси.

Класс по проходимости определяется при помощи прибора J-образного кольца, показанного на рис. 4. Кольцевой прибор предназначен для оценки текучести бетонной смеси и способности к заполнению и проходимости. Кольцо имеет прямоугольное сечение размером 30x25 мм и внутренний диаметр 300 мм. В средней части кольца имеются отверстия для закрепления стержней $\varnothing 10$ мм и высотой 100 мм. Шаг между стержнями может меняться в зависимости от размера крупного заполнителя. При испытании бетонной смеси этим прибором в середину кольца устанавливается стандартный конус. Затем конус заполняют бетонной смесью и удаляют его, после чего фиксируют горизонтальный диаметр расплывшейся бетонной смеси, прошедшей через арматуру. Затем измеряют высоту бетонной смеси в четырех точках, находящихся как внутри, так и снаружи арматуры. Чем меньше разницы высот, тем выше проходимость: **PJ= H₀ – H₁**.

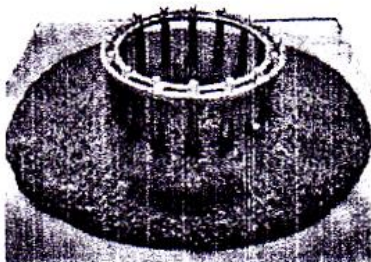
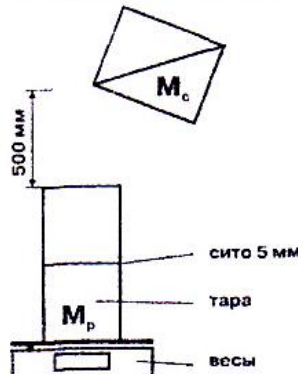
Класс	Проходи- мость, мм		Измеряется высота бетонной смеси H_0 внутри кольца и в 4 точках снаружи H_1 $PJ = H_0 - H_1$
PJ1	≤ 10 для 12 стержней		
PJ2	≤ 10 для 16 стержней		
Также измеряется уменьшение расплыва бетонной смеси, которое должно быть ≤ 100 мм			

Рис. 4. Определение проходимости кольцевым прибором

Разница горизонтального расплыва смеси при проведении испытания кольцевым прибором и без него является одним из основных показателей проникающей способности заполнителей. Класс по расслаиваемости определяется прибором для испытания по расслоению бетонной смеси при прохождении через сито (рис. 5).

Класс	Расслаиваемость ¹⁾ , %	 Измеряется суммарная масса бетонной смеси M_c и прошедшая через сито в течение 2 мин. M_p $SR=(M_p/M_c) \cdot 100\%$
SR1	≤ 20	
SR2	$\leq 15^2)$	

¹⁾ Данный метод неприменим к бетонам на легких заполнителях или с фиброй

²⁾ Если высота конструкции >5 м и шаг арматуры <80 мм, расслаиваемость не должна превышать 10 %.

Рис. 5. Определение расслоения бетонной смеси через сито

Этот прибор в средней части имеет сито с ячейками 5 мм. При испытании бетонной смеси его располагают на плоских весах и с высоты порядка 50 см заполняют бетонной смесью, имеющей M_c массу. Тогда показатель расслаиваемости определяют формулой $SR = (M_p / M_c) \cdot 100\%$, где M_p определяется взвешиванием части бетонной смеси, прошедшей через сито.

При применении самоуплотняющихся бетонов следует учесть особенность их состава, который управляется увеличением расхода песка с целью превышения содержания крупного заполнителя. При этом крупность зерен щебня не должна превышать 20 мм, а еще лучше - 10 мм. Это будет

способствовать изготовлению тонкостенных и густоармированных железобетонных конструкций при высокой однородности уложенного бетона.

Несмотря на повышенную себестоимость бетонной смеси, применение самоуплотняющихся бетонов значительно расширяется. В Японии в настоящее время применение самоуплотняющихся бетонов на практике превышает 50% общего объема уложенного в дело бетона. Значительные снижения трудоемкости и продолжительности процесса изготовления железобетонных конструкций в итоге приводит к значительной экономии при строительстве [4].

В связи с изложенным, следует учесть целесообразность проведения научно-исследовательских работ с целью скорейшего применения этой прогрессивной технологии в Армении. При этом, следует подвергать испытанию в виде тонкого наполнителя порошок из базальтовой высежки, литоидной пемзы, вулканического шлака и Арагацкого перлита.

Ա.Մ.Ասիրյան

ԻՆՔՆԱԽՏԱՅՎՈՂ ԲԵՏՈՆԱՅԻՆ ԽԱՌՆՈՒՐՂՆԵՐԻ ՌԵՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ինքնախտացվող բետոնային խառնուրդների ռեոլոգիական առանձնահատկությունները թույլ են տալիս առանց մեխանիկական ազդեցության տեղադրել այն կաղապարների մեջ: Նման բետոնային խառնուրդներն առանձնանում են խոշոր լցանյութերի սահմանափակ քանակով, գերպլաստիկարարի բարձր բաղադրաքանակով և համալիր հանքային հավելանյութերի պարտադիր առկայությամբ: Առանձնահատուկ է նաև այն, որ կոնի նստվածքը, որը գերազանցում է 25 սմ, այլևս չի կարող ծառայել որպես խառնուրդի հատկանիշ: Դրա հետևանքով Եվրոպական EN 12350 ստանդարտի հիման վրա կիրառում են լրացուցիչ փորձարկումներ:

***Առանցքային բառեր.** ինքնախտացվող բետոնային խառնուրդներ, գերպլաստիկարար, միկրոլցանյութ, մածուցիկություն, կոնի փռվածք*

A.M.Asiryan

THE REOLOGICAL FEATURES OF SELF-SEALING CONCRETES

Reological features of self-sealing concrete allow to make placing without any mechanical impacting. Self-sealing mixtures have a limited quantity of coarse aggregate, high dosage of hyperplasticizer and complex mineral additive. One of the features is that indicators of precipitation cone, which is higher than 25 cm, can't serve as determinative indicator of mix. In this connection additional tests are applied, given here on the basis of European standard EN12350.

Keywords: self-sealing concrete mixes, hyperplasticizer, microadditive, viscosity, slump test

Литература

1. Юай Юань, Ван Лин, Тянь Пе. Высококачественный цементный бетон с улучшенными свойствами. - М.: Изд-во АСБ, 2014. – 448 с.

2. Несветаев Г.В. Технология самоуплотняющихся бетонов// Строительные материалы. 2008. - № 3. – С. 24-28.
3. Каприелов С.С., Травуш В.И. и др. Модифицированные бетоны нового поколения в сооружениях ММДЦ "Москва-Сити"// Строительные материалы. - 2006. - № 10. – С.13-17.
4. BS EN 206-9:2010. Concrete. Additional rules for self-compacting concrete (SCC).

Работа осуществлена в рамках программы "Выявление, уточнение, разработка предложений и рекомендаций по внедрению путей устойчивого развития архитектурного и строительного комплексов РА с применением постоянного мониторинга" по базовому финансированию из госбюджета РА научной и научно-технической деятельности.

Ասիրյան Ալբերտ Միքայելի, և գ.դ.-ր պրոֆ. (ՀՀ, ք.Երևան) - ՃՀՀԱՀ, ակ. Ալ. Թամանյանի անվ. Ճարտարապետության և շինարարության պրոբլեմային լաբորատորիա, և.գ.տ., ՇՆԻՇԱՏ ամբիոն, (+374) 093 974040:

Ասիրյան Ալբերտ Միքայելովիչ, դ.տ.հ., պրոֆ. (ՐԱ, ք.Երևան) - НУАСА, Проблемная лаборатория Архитектуры и строительства им. акад. Ал. Таманяна, с.н.с., кафедра ТПСЖМ, (+374) 093 974040.

Asiryan Albert Michael, doctor of science (engineering), prof. (RA, Yerevan) - NUACA, Research Laboratory of Architecture and Building by Academician Al. Tamanyan, senior research worker, chair of PTCMIS, (+374) 093974040.

Ներկայացվել է՝ 05.05.2015թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 14.05.2015թ.