Статья поступила в редакцию: 13.09.2026
Статья принята к публикации: 29.09.2026
Статья опубликована: 28.10.2026

УДК 691.3+620.1

DOI: 10.32743/UniTech.2026.151.10.23480

Ускоренный метод определения текучести цементного теста с химическими добавками

Мухамедбаев Абдугафур Абдувалиевич
PhD, доц.
кафедры Технология строительных материалов и конструкций
Ташкентский архитектурно-строительный университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: mabdugofura@gmail.com

Шакаров Тулкин Исматович
канд. техн. наук, доц.,
кафедры «Металлургия»
Филиала Национального исследовательского технологического университета «МИСИС» в г. Алмалык,
Республика Узбекистан, г. Алмалык
E-mail: shakarovtulkin@gmail.com

Мухамедбаев Абдували Абдусаттарович
канд. техн. наук, доц., директор
ООО“ANTENN-BRANCH”,
Республика Узбекистан, Ташкент
E-mail: sciencecemtech@mail.ru

Масидиков Шерзад Абдурасулович
магистр,
заместитель директора медно-обогатительной фабрики №3 АО “Алмалыкский ГМК”,
Республика Узбекистан, г. Алмалык
E-mail: sh.masidikov@agmk.uz

Кадыров Хайрулло Марибжанович
главный технолог
ООО “RECO BREND SEMENT”,
Республика Узбекистан, г. Андижан
E-mail: hajrullokadirov583@gmail.com

Библиографическое описание: Ускоренный метод определения текучести цементного теста с химическими добавками // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Мухамедбаев А.А. [и др.]. 2026. 10(151). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23480

Accelerated method for determining the fluidity of cement dough with chemical additives

Mukhamedbaev Abdugofur
PhD
Associate Professor of the Department of Technology of Building Materials and Structures of Tashkent University of Architecture and Civil Engineering
Uzbekistan, Tashkent
Shakarov Tulkin
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Metallurgy
Branch of the National University of Science and Technology «MISIS» in Almalyk, Uzbekistan, Almalyk
Mukhamedbaev Abduvali
Candidate of Technical Sciences
“ANTENN-BRANCH” LLC,
Uzbekistan, Tashkent
Masidikov Sherzad
Master
Copper Processing Plant No.3 of Almalyk MMCJSC
Uzbekistan, Almalyk
Kadyrov Khairullo
Chief Technologist of “RECO BRAND SEMENT” LLC,
Uzbekistan, Andijan

Аннотация

Рассматриваются вопросы разработки простого, недорогого и применяемого в полевых условия метода определения текучести цементного теста с химическими добавками. Метод основан на определении растекаемости цементного теста. Для определения растекаемости цементного теста предложено использование цилиндра диаметром 50 мм и высотой 60 мм. Использование предлагаемого метода позволяет определить совместимость вводимого при помоле цементной шихты химической добавки и её оптимальное количество. На примере смеси (г.): дробленый клинкер – 3000, базальт – 800, гипсовый камень – 200, измельчаемой в однокамерной лабораторной шаровой мельнице диаметром Ø42 см и длиной 50 см, общем весе шаровой загрузки – 102 кг и числа оборотов корпуса мельницы – 52 об./мин. показано возможность существования трех вариантов растекаемости цементного теста. Количество вводимого пластификатора принят равным 0,35 % от веса цемента. Первый состав– когда химическая добавка не совместима в составом цемента, второй соста – при совместимости химической добавки и цемента и третей – когда дозировка химической добавки превышает оптимальное значение. Метод не требует наличия высоких квалифицированных требований у персонала испытательных лабораторий. Отмечается, что результаты испытаний ускоренным методом могут использоваться для корректировки состава бетонных смесей и контроля сохраняемости их реологических характеристик.

Abstract

The issues of developing a simple, in expensive and field-applied method for determining the fluidity of cement dough with chemical additives are considered. The method is based on determining the spreadability of cement paste. Todeter mine the spreadability of cement paste, it is

proposed to use a cylinder with a diameter of 50mmand a height of 60mm. The use of the proposed method makes it possible to determine the compatibility of the chemical additive introduced during the grinding of the cement charge and its optimal amount. Using the example of a mixture (g.): crushed clinker–3000, basalt–800, gypsum stone–200, crushed in a single–chamber laboratory ball mill with a diameter of Ø42cmand a length of 50cm, the total weight of the ballloadis102kgand the number of revolutions of the millbodyis52rpm.thepossibility of existence of three variants of spreading of cement dough is shown. The amount of plastic izer introduced is assumed to be equal to 0.35 % of the cement weight. The first is when the chemical additive is incompatible with the composition of cement, the second is when the chemical additive and cement are compatible, and the third is when the dosage of the chemical additive exceeds the optimal value. The method does not require highly qualified requirements from the personnel of the testing laboratories. It is noted that the accelerated test results can be used to adjust the composition of concrete mixtures and control the preservation of the irrheological characteristics.

Ключевые слова: совместимость цемента с добавками, цементное тесто, тест Кантро, портландцемент, клинкер, текучесть цементного теста, метод определения текучести.

Keywords: compatibility of cement with additives, cement dough, Cantro test, portland cement, clinker, fluidity of cement dough, a method for determining fluidity.

Введение

Стремление к улучшению свойств портландцемента привело к изменениям её вещественного и гранулометрического состава. Основную часть производимых цементов в Узбекистане составляют цементы с повышенной удельной поверхностью. В технологии бетонирования все больше используются бетонные смеси с высокой текучестью. Несомненно, повышенные требования к подвижности бетонных смесей при низком водоцементном отношении и повышенных дозировках тонкодисперсных вяжущих достигаются применением специальных химических добавок. Для этих целей широко применяют добавки-пластификаторы [3].

Несмотря на многообразие платифицирующих добавок, предопределить их совместимости с конкретным цементом невозможно. Процессы, протекающие из-за многофазности вяжущих систем и бетонной смеси, слишком сложны, чтобы можно было сделать определенные выводы на основе практических испытаний. По этой причине при производстве бетонных и растворных смесей сохраняется практика подбора состава композиции пластифицирующих добавок под конкретный вещественный состав бетонной или растворной смеси с учетом необходимой удобоукладываемости и сохраняемости ее свойств во времени.

Хотя, принято считать, что все процессы формирования основных физико-химических и физико-механических свойств портландцемента заканчиваются на этапе тонкого помола цемента в мельнице, поверхностная активность цемента зависит от условий его транспортирования и хранения. Даже при использовании одних и тех же типов минеральных добавок простая смена партии цемента, поставляемого одним и тем же производителем, или долгий срок хранения партии цемента в силосе производителя или бункере у потребителя могут изменить эффективность добавки [1, 4, 10].

Из известных методик оценки совместимости цемента и химической добавки с высокой воспроизводимостью и наиболее применимым к полевым условиям является тест Кантро по мини-конусу. Хотя метод оценки текучести свежего цементного теста по мини-конусу Кантро широко используется на практике, остается вопрос трудности изготовления мини-конуса данной конфигурации.

Целью данного исследования является создание простого, доступного и позволяющего применение в полевых условиях ускоренного метода определения текучести цементного теста с химическими добавками.

Задачи исследования

а) разработка портативной методики определения совместимости химической добавки к цементу путем измерения растекаемости цементного теста,

б) применение предлагаемой методики для определения совместимости химической добавки к цементу.

Материалы и методы

Тесты определения текучести цементного теста с химическими добавками не стандартизированы. Из всех известных методик оценки совместимости с высокой воспроизводимостью, описанных в технической литературе [2, 5–9], наиболее подходит к полевым условиям тест Кантро по мини-конусу. Это быстрый, недорогой и широко применяемый способ оценки текучести свежего цементного теста. Цементное тесто закладывается в конус с уплотнением. При поднятии конуса материал начинает течь и останавливается, когда напряжение сдвига достигает предела текучести материала. Общий вид мини-конуса Кантро приводится на рис. 1.

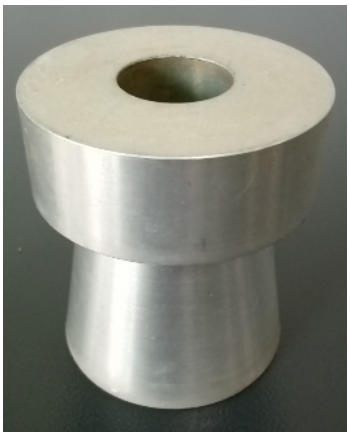

Рисунок 1. Мини-конус Кантро

Для этих целей нами предлагается использовать метод определения текучести цементного теста с применением пластмассового цилиндра внешним диаметром 50 мм, толщиной стенки 2 мм и высотой 60 мм.

Цилиндр устанавливали на металлический диск диаметром 300 мм, предварительно цилиндр и пластину увлажняли. Диск имеет крестообразную разметку через центр, вдоль разметки имеет шкалу радиусом 50 и 100 мм. Цилиндр заполняли цементным тестом за один прием (см. рис. 2, рис. 3).

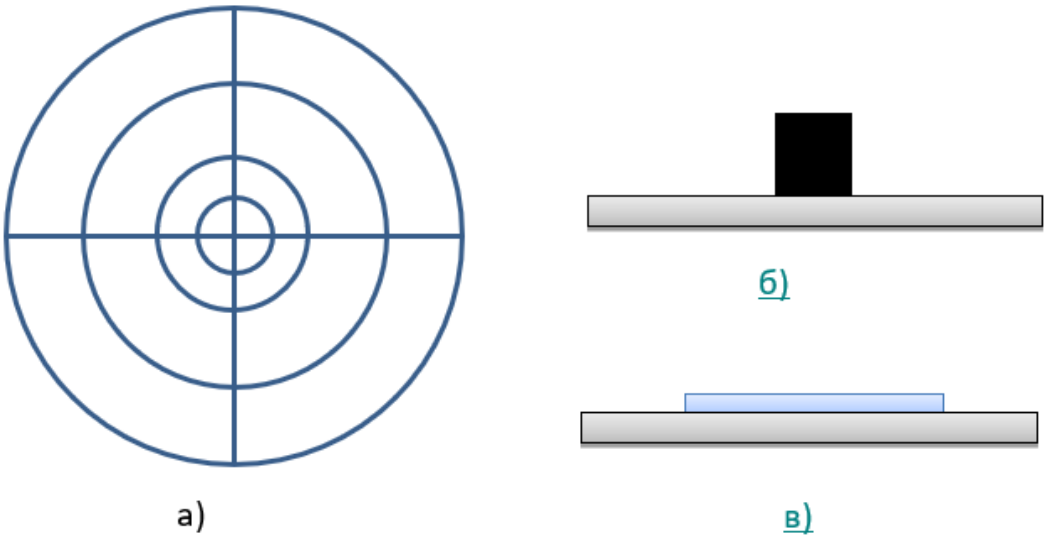

Рисунок 2. Схема предложенного метода: а) схема размети диска; б) расположение цилиндра на диске; в) растекание объема теста по диску

Излишки теста срезают. Подъем цилиндра резкое, осуществляется вручную без резких толчков и встряхиваний. После полного растекания цементного теста, примерно 30 сек после поднятия цилиндра, измеряют расплыв цилиндра (текучесть) в трех разных направлениях. За результат принимаем среднее значение. Эксперимент для каждой точки повторяют 3 раза.

Исследования проводились в испытательной лаборатории ООО «RECO BREND SEMENT». В исследованиях использован цемент ЦЕМ II/А-К 32,5Н ООО «RECO BREND SEMENT» и пластифиаторы.

Цементное тесто приготовлено из 200 г цемента с В/Ц = 0,35. Химические добавки вводят в воду затворения с таким расчетом, чтобы В/Ц оставалось постоянным. Дозировка химической добавки – не ограничено. Время перемешивания составляет 100 с.

Остаток на сите с сеткой 008 и удельную поверхность определяли в соответствии с общепринятыми методиками.

Помол клинкера, базальта и гипсового камня осуществляли в однокамерной лабораторной шаровой мельнице диаметром Ø42 см и длиной 50 см. Общий вес шаровой загрузки – 102 кг, число оборотов корпуса мельницы – 52 об./мин.

Состав измельчаемой смеси постоянный (г.): дробленый клинкер – 3000, базальт – 800, гипсовый камень – 200. Количество вводимого пластификатора принят равным 0,35 % и 0,7 % от веса цемента. Время помола – 40 минут.

На продуктах помола определяли: остаток на сите с сеткой 008, удельную поверхность и растекаемость цементного теста.

Портландцемент получают путем тонкого измельчения смеси сырья, состоящей из клинкера, минеральной добавки и гипсового камня. Минеральная добавка, содержащаяся в цементе, определяется типом продукта. Например, в ЦЕМ II/А-К содержание минеральной добавки не должно превышать 20 %. В качестве минеральных добавок на предприятии могут использоваться базальт и известняк. В лабораторных исследованиях содержание гипсового камня было принято равным 3 %. Химический состав используемых материалов приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав сырьевых материалов

Название материала	Химический состав, %							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	п.п.п.	сумма
известняк	1,60	1,05	0,67	53,50	0,50	0,15	42,30	99,77
базальт	51,50	11,00	4,40	12,70	3,00	1,50	13,60	97,70
клинкер	20,63	5,01	3,64	66,47	2,45	1,07	0,11	99,38

Химический и минералогический состав, физико-механические и прочностные свойства клинкера приведены в табл. 2, 3 и 4.

Таблица 2. Химический и минералогический состав клинкера

Производитель клинкера	Химический состав, %						Минералогический состав,%			
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
RECO BREND SEMENT	20,63	5,01	3,64	66,47	2,45	1,07	71,95	4,87	7,10	11,07

Таблица 3. Физико-механические показатели клинкера

клинкер	Остаток на сите 008, %	Удельняя поверхность, $м^2/кг$	Время схватывания, минут	
			начало	конец
RECO BREND SEMENT	1,50	377	65	80

Таблица 4. Прочностные показатели клинкера

клинкер	Прочностные показатели, МПа			
	изгиб		сжатие	
	2 сут.	28 сут.	2 сут.	28 сут.
RECO BREND SEMENT	6,1	8,5	24,9	51,6

Пластификаторы.

В качестве пластификаторов использовали органические соединения, соответствующие Ts 30387195-01-2021 “Бетон и бетонные смеси”. Пластификаторы предложены ООО «BAAS CEMICAL» и ООО «MASTER CEMICAL».

С добавкой пластификаторов изготовлено тесто трех разных составов, которые были испытаны предложенным методом. Составы выбраны так, чтобы проиллюстрировать разное растекание.

Состав 1. Дробленый клинкер – 3000 г, базальт – 800 г, гипсовый камень – 200 г, пластификатор «SAMO», предложенный ООО «MASTER CEMICAL» – 10,5 г (0,35 %).

Состав 2. Дробленый клинкер – 3000 г, базальт – 800 г, гипсовый камень – 200 г, пластификатор «CEMENTMIX», предложенный ООО «BAAS CEMICAL» – 10,5 г (0,35 %).

Состав 3. Дробленый клинкер – 3000 г, базальт – 800 г, гипсовый камень – 200 г, пластификатор «CEMENTMIX», предложенный ООО «BAAS CEMICAL» - 21,0 г (0,7%).

Результаты и обсуждение

При применении предложенного метода для исследованного состава теста быели получены следующие результаты.

Было отмечено три варианта растекаемости цементного теста.

Первый – когда форма после высвобождения теста из цилиндра формы почти не менялось относительно исходной (рис. 3). Форма теста характеризуется средним значением геометрии, расчитанному по результатам трех измерений как цилиндр высотой 55 мм и диаметром по основанию не более 52 мм.



Рисунок 3. Общий вид растекаемости цементного теста (вариант 1)

Второй вариант, когда объем цементного теста растекается в виде пятна диаметром 75 – 85 мм расчитанному как среднее значение по результатам трех измерений (рис. 4).



Рисунок 4. Общий вид растекаемости цементного теста (вариант 2)

Третий вариант, когда объем цементного теста растекается в виде пятна диаметром 175 мм и более расчитанному как среднее значение по результатам трех измерений (рис. 5).



Рисунок 5. Общий вид растекаемости цементного теста (вариант 3)

Таким образом предложенный метод позволяет оценивать текучесть цементного теста.

Исследование различных составов цементного теста позволяет сделать следующие выводы.

Для состава 1 объем цементного теста сохранил форму цилиндра (см. рис. 3), следовательно, пластификатор «SAMO» не совместим с данным составом цемента. Для состава 2 цементного теста растекается в виде пятна диаметром 75 – 85 мм (см. рис. 4). Следовательно, применяемый пластификатор «CEMENTMIX» совместим с данным составом цемента и может быть рекомендовано к использованию в технологическом процессе производства пластифицированного цемента. Для третьего состава теста получена максимальная растекаемость цементного теста, что показывает очень высокую степень пластификации данного состава цемента; следовательно использовании пластификатора «CEMENTMIX» в количестве 0,7 % от веса цемента в дальнейшем может положительно сказаться на свойствах бетонов, полученных на основе данного вида пластифицированного цемента.

Заключение

1. Предлагаемый ускоренный метод определения текучести цементного теста с химическими добавками вполне пригоден для определения совместимости применяемого пластификатора к конкретному составу цемента.

2. Предлагаемый ускоренный метод определения текучести цементного теста с химическими добавками прост в использовании, недорогой в исполнении и вполне пригоден к применению в полевых условиях.

3. Посредством предлагаемого ускоренного метода определения текучести цементного теста с химическими добавками можно корректировать оптимальный ввод пластификатора при помоле шихты цемента.

Список литературы

1. Шахова Л.Д., Коновалов В.М. К вопросу водоотделения // Цемент и его применение. – 2022. – № 5. – С. 50–53.
2. Barnes H.A. Rotating vane rheometry – a review // J. Non-Newtonian Fluid Mech. – 2001. – Т. 98. – P. 1–14.

3. Cheung J., Roberts L., Liu J. Admixtures and sustainability // Cem. Concr. Res. – 2018. – T. 114. – P. 79–89.
4. Dubina E., Wadsö L., Plank J. A sorption balance study of water vapour sorption on anhydrous cement minerals and cement constituents // Cem. Concr. Res. – 2011. – T. 41. – P. 1196–1204.
5. Kantro D.L. Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste – a miniature slump test // Cem. Concr. Aggreg. – 1980. – T. 2. – P. 95–102.
6. Papayianni I., Tsohos G., Oikonomou N., Mavria P. Influence of superplasticizer type and mix design parameters on the performance of them in concrete mixtures // Cem. Concr. Compose. – 2005. – T. 27. – P. 217–222.
7. Roussel N., Coussot P. Fifty-cent rheometer for yield stress measurements: From slump to spreading flow // J. Rheol. – 2005. – T. 49. – P. 705–718.
8. Roussel N., Stefani C., Leroy R. From mini-cone test to Abrams cone test: Measurement of cement-based materials yield stress using slump tests // Cem. Concr. Res. – 2005. – T. 35. – P. 817–822.
9. Shrihari S., Seshagiri Rao M.V., Srinivasa Reddy V., Manasa A. Compatibility assessment of commercial cements with superplasticizers // ICMED. – 2020. – T. 184.
10. Stoian J., Oey T., Bullard J.W., Huang J. et al. New insights into the prehydration of cement and its mitigation // Cem. Concr. Res. – 2015. – T. 70. – P. 94–103.

References

1. Shakhova L.D., Konovalov V.M. [On the Issue of Water Separation] // Tsementi ego primenenie. – 2022. – No. 5. (In Russ.).
2. Barnes H.A. Rotating vane rheometry – a review // J. Non-Newtonian Fluid Mech. – 2001. – Vol. 98. – P. 1–14.
3. Cheung J., Roberts L., Liu J. Admixtures and sustainability // Cem. Concr. Res. – 2018. – Vol. 114. – P. 79–89.
4. Dubina E., Wadsö L., Plank J. A sorption balance study of water vapour sorption on anhydrous cement minerals and cement constituents // Cem.Concr. Res. – 2011. – Vol. 41. – P. 1196–1204.
5. Kantro D.L. Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste – a miniature slump test // Cem. Concr. Aggreg. – 1980. – Vol. 2. – P. 95–102.
6. Papayianni I., Tsohos G., Oikonomou N., Mavria P. Influence of superplasticizer type and mix design parameters on the performance of them in concrete mixtures // Cem. Concr. Compose. – 2005. – Vol. 27. – P. 217–222.
7. Roussel N., Coussot P. Fifty-cent rheometer for yield stress measurements: From slump to spreading flow // J. Rheol. – 2005. – Vol. 49. – P. 705–718.
8. Roussel N., Stefani C., Leroy R. From mini-cone test to Abrams cone test: Measurement of cement-based materials yield stress using slump tests // Cem. Concr. Res. – 2005. – Vol. 35. – P. 817–822.
9. Shrihari S., Seshagiri Rao M.V., Srinivasa Reddy V., Manasa A. Compatibility assessment of commercial cements with superplasticizers // ICMED. – 2020. – Vol. 184.

10. Stoian J., Oey T., Bullard J.W., Huang J. et al. New insights into the prehydration of cement and its mitigation // Cem. Concr. Res. – 2015. – Vol. 70. – P. 94–103.