



УДК 697.327:620.193

З.А. Естемесов, К. Сейтжанов

ЦелСИМ, г. Алматы

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛООТВАЛОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОМОЛОТОГО МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ЦЕМЕНТА

Применение золы в строительных материалах в качестве сырья является одним из главных приоритетных направлений по ее утилизации: во-первых, золоотвалы используются в больших количествах вследствие материоемкости строительной индустрии; во-вторых, решаются вопросы рационального использования минеральных ресурсов путем создания малоотходных технологий и экологические проблемы; в-третьих, народное хозяйство получает эффективные строительные материалы с заданными физико-механическими и эксплуатационными свойствами и экономически выгодные.

Тонкомолотые многокомпонентные цементы (ТМЦ) – новое поколение эффективных высокопрочных вяжущих, получаемых путем домола портландцемента совместно с суперпластификатором и минеральным компонентом природного или техногенного происхождения, включая золу.

Изучению различных аспектов развития технологии ТМЦ посвящены исследования ученых Ш.Т. Бабаева [1, 2], С.С. Сейтжанова, З.А. Естемесова [3], Л.А. Малининой [4], З.Б. Энтина [5], Б.Э. Юдовича [6] и др., где заложены теоретические и экспериментальные положения технологии, гидратации, применения и эксплуатации этих вяжущих и изделий на их основе.

Однако в этих работах основное внимание было уделено получению ТМЦ с применением гранулированных доменных и фосфорных шлаков, а ТМЦ с использованием золы недостаточно исследованы. Настоящая статья восполняет этот пробел.

Исходным сырьем для получения ТМЦ служили: портландцемент М400 Д20 со следующим минералогическим составом, %: C_3S – 65...69; C_2S – 9...14; C_3A – 5,7...7,0; C_4AF – 12...14; зола из отвалов Алматинской ТЭЦ-2 и суперпластификатор С-3 (Россия).

Получение ТМЦ осуществляли в лабораторной мельнице при заданных соотношениях исходных сырьевых материалов. Были приготовлены ТМЦ следующих марок: 90, 85, 70 и 50.

Активность и марку ТМЦ определяли по стандартной методике согласно ГОСТ 310.

На рис. 1 показана кинетика развития удельной поверхности ТМЦ в зависимости от содержания в них золы. Как и следовало ожидать, для достижения требуемой дисперсности ТМЦ ($600 \text{ m}^2/\text{kg}$) наименьшее время требуется для ТМЦ-50,

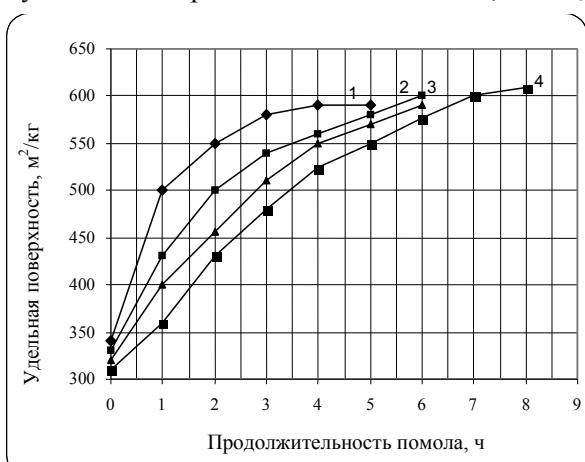


Рис. 1. Кинетика развития удельной поверхности ТМЦ с использованием золы: 1 – ТМЦ-50; 2 – ТМЦ-70; 3 – ТМЦ-85; 4 – ТМЦ-90

содержащего в своем составе 50 % золы, наибольшее – для ТМЦ-90, где содержание золы составляет 10 %. Из рис. 1 видно, что необходимую удельную поверхность ТМЦ-50 достигает через 4 часа с начала размола смеси, а ТМЦ-90 – через 7-8 часов.

Надо полагать, что при других измельчительных аппаратах кинетика и механизм измельчения вяжущих материалов могут быть вполне иными.

В табл. 1 представлены физические свойства ТМЦ-90, ТМЦ-85, ТМЦ-70, ТМЦ-50 и исходного цемента без добавки и с добавкой 1,5 % С-3.

Таблица 1. Физические свойства ТМЦ с использованием золы

Вяжущее	Плотность, г/см ³	Тонина помола по остатку на сите № 008, %	Удельная поверхность, м ² /кг	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, ч-мин	
					начало	конец
Исходный цемент	3,0	11,7	280	26,8/18,9	3-45/1-00	5,00/3-50
ТМЦ-90	2,98	1,8	580	30,8/20,1	4-00/1-30	5-20/4-10
ТМЦ-85	2,97	1,6	580	33,3/21,0	4-30/1-50	5-25/4-20
ТМЦ-70	2,95	1,13	580	37,0/21,4	4-45/2-00	5-30/4-30
ТМЦ-50	2,90	1,1	600	37,2/22,3	4-50/2-33	5-35/4-47

Примечание: Над чертой – без добавки, под чертой – с добавкой 1,5 % С-3

Анализируя полученные данные, можно сказать следующее:

- с увеличением содержания золы в составе плотность ТМЦ уменьшается, например у ТМЦ-90 она составляет 2,98 г/см³, а у ТМЦ-50 – 2,9 г/см³;

- нормальная густота теста, наоборот, возрастает с увеличением содержания золы в составе ТМЦ, например, ТМЦ-85 без добавки С-3 имеет нормальную густоту 30,8 %, а ТМЦ-70 – 37 %;

- начальные и конечные сроки схватывания ТМЦ увеличиваются с повышением содержания в нем золы;

- введение добавки С-3 оказывает существенное благоприятное действие на физические свойства вяжущих материалов, в



Рис. 2. Кинетика структурообразования в пасте с добавкой С-3, приготовленной из исходного цемента: 1 – без добавки; 2-4 – соответственно с добавкой 0,5; 1,0 и 2 % С-3

особенности на такие важные, как нормальная густота теста и сроки схватывания твердеющей системы.

Определение пластической прочности теста изучаемых вяжущих материалов проводили на рычажно-коническом пластометре конструкции МГУ. Испытанию подвергали тесто, полученное из исходного цемента (рис. 2), ТМЦ-70 (рис. 3) и ТМЦ-50 (рис. 4).

При этом в их составе имелся С-3 в количестве 0,5; 1,0 и 2,0 %. В качестве эталонных образцов брали соответствующее тесто без добавки С-3.

Опыты показывают, что на кинетику струк-

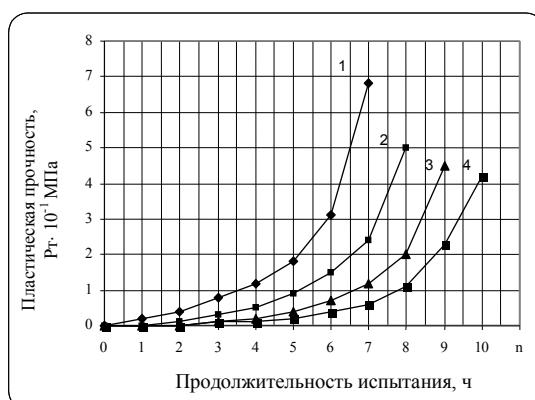


Рис. 3. Кинетика структурообразования в пасте с добавкой С-3, приготовленной из ТМЦ-70:

1 – без добавки; 2-4 – соответственно с добавкой 0,5; 1,0 и 2 % С-3

турообразования теста существенное влияние оказывает содержание в нем суперпластификатора С-3 и золы. Из рис. 4.2-4.4 видно, что независимо от вида исходного вяжущего и содержания С-3 взаимосвязь между пластической прочностью теста и кинетикой структурообразования состоит из двух этапов:

- когда тесто в результате сложных физико-химических процессов постепенно набирает прочность, она колеблется в пределах 0,1...0,3 МПа;

- когда гидратированная твердеющая система быстро набирает прочность и ветвь кривой зависимости резко поднимается вверх, в этом случае пластическая прочность теста достигает 0,4-0,8 МПа.

Анализируя полученные результаты, можно констатировать, что с увеличением содержания суперпластификатора С-3 и золы, скорость структурообразования теста замедляется, что обусловлено:

- в случае С-3: частицы цемента обволакиваются полимерной пленкой, что приводит к сдерживанию гидратационных процессов;

- в случае золы: повышение ее в составе ТМЦ приводит к уменьшению содержания цемента, что отрицательно сказывается на скорости набора прочности твердеющей системы.

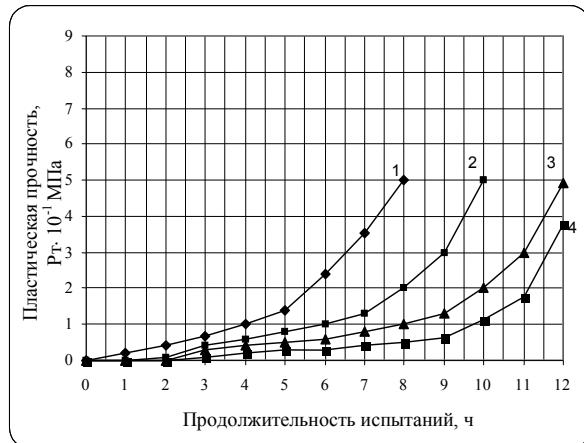


Рис. 4. Кинетика структурообразования в пасте с добавкой С-3, приготовленной из ТМЦ-50:
1 – без добавки; 2-4 – соответственно
с добавкой 0,5; 1,0 и 2 % С-3

Список литературы

- Бабаев Ш.Т., Башлыков Н.Ф., Сорокин Ю.В. Особенности технологий и свойств бетонов на основе вяжущих низкой водопотребности //Промышленность строительных материалов. – М.: ВНИИСЭМ, 1992. – Вып. 2. – 108 с.
- Бабаев Ш.Т., Комар А.А. Энергосберегающая технология железобетонных конструкций из высокопрочного бетона с химическими добавками. – М.: Стройиздат, 1987. – 48с.
- Сейтжанов С.С., Естемесов З.А. Тонкомолотые многокомпонентные вяжущие и бетоны. – Алматы: НИИстромпроект, 1997. – 230 с.
- Малинина Л.А. Проблемы производства и применения тонкомолотых многокомпонентных цементов //Бетон и железобетон. – 1990.- № 2. – С. 3-5.
- Энтин З.Б. Химия и технология тонкомолотых многокомпонентных цементов: Автореф. д-ра техн. наук. – М., 1993.- 48 с.

Получено: 25.03.05

УДК 624.154

Ю.М. Новиков

ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРИБЛИЖЁННОГО РАСЧЁТА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

В настоящее время в проектной практике используются два метода расчёта свайных

фундаментов.

Первый метод приближённый. Он основан на предположении, что свая представляет собой стержень, жёстко заделанный нижним концом на некоторой глубине h_m от поверхности грунта (рис. 1). Глубина h_m определена из условия равенства критической силы для сваи, находящейся в грунтовой среде, и для сваи с жёсткой заделкой [1-3].

$$h_m = \frac{2}{\alpha_c}, \quad (1)$$

где α_c – коэффициент деформации сваи, m^{-1} :

$$\alpha_c = \sqrt[5]{\frac{Kb_p}{EI}} \quad (2)$$

где K - коэффициент пропорциональности, tc/m^4 ; b_p - расчётная ширина сваи, m ; EI - изгибная жёсткость поперечного сечения сваи, $tc\cdot m^2$.

Второй метод основан на предположении, что свая представляет собой стержень, заделанный в упругое основание типа Фусса-Винклера. Коэффициент постели основания С линейно зависит от глубины z

$$C_z = mz, \quad (3)$$

где m – коэффициент пропорциональности, tc/m^4 .

Этот метод считается точным и достаточно хорошо согласуется с опытными данными для отдельно стоящих свай. Коэффициент пропорциональности определён на основании опытных данных, полученных по результатам испытаний свай на горизонтальную нагрузку.

В нормах [1] при расчётах на прочность ствола сваи предлагается использовать первый метод, а расчёт свай и свайных фундаментов по деформациям следует производить по второму методу.

Рассмотрим достоинства и недостатки первого и второго методов.

Основным недостатком первого метода является достаточно грубая расчётная схема, применимая для приведённой глубины погружения свай $\bar{h} = h \cdot \alpha \geq 2,5$, где h - реальная глубина погружения сваи. В этом случае погрешность расчёта достигает 20 % [4]. При $\bar{h} \leq 2,5$ погрешность будет значительно больше. Привлекательность этого метода заключается в возможности использования компьютерных программ для расчёта рамных конструкций.

Второй метод достаточно хорошо разработан для расчёта свайных фундаментов с плитой ростверка, изгибная жёсткость которой значительно больше жёсткости свай. В случаях, когда жёсткость вышележащей конструкции сравнима с жёсткостью свай, а также при нагрузках, приложенных ниже плиты ростверка, расчёт усложняется. В частности, это относится к свайным устоям и безростверковым опорам мостов.

Использование приближённого способа оправдывается значительными запасами,ложенными в нормах расчёта свайных фундаментов из-за значительного разброса характеристик грунта. В частности, коэффициент надёжности γ_c достигает 1,75, а коэффициент условий работы при расчёте свай на горизонтальные нагрузки по первой стадии работы сваи принят равный $\gamma_c = 3$. Наибольшее и наименьшее значения коэффициента пропорциональности для грунтов отличаются в 1,5-2 раза. Правда, ошибка в определении коэффициента пропорциональности в два раза даёт ошибку при определении усилий в сечении сваи не более, чем 15 % [4].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что погрешность в расчётах

менее 10 % незначительно скажется на надёжности расчётов свайных фундаментов.

Целью данной работы является создание расчётной схемы свайного фундамента, адаптированной к применению уже созданных компьютерных программ, основанных на строительной механике упругих систем, без существенной потери точности.

В данной работе предлагается следующий приближённый метод, основанный на точном решении для одиночной сваи [4].

Расчётную схему сваи представим в виде стержня, заделанного одним концом, так же как это сделано в нормах [1]. Определим глубину условной заделки h из условия равенства прогибов и углов поворота в уровне поверхности грунта в приближённой и точной схемах, то есть из условий (рис. 1)

$$f_p = f'_p, \quad (4)$$

$$f_m = f'_m, \quad (5)$$

$$\alpha_p = \alpha'_p, \quad (6)$$

$$\alpha_m = \alpha'_m, \quad (7)$$

где $f_p, f_m, \alpha_p, \alpha_m$ – соответственно прогибы и углы поворота от единичных нагрузок (силы и момента), приложенных на уровне поверхности грунта и определённых по точному методу (рис. 1, а);

$f'_p, f'_m, \alpha'_p, \alpha'_m$ – соответственно прогибы и углы поворота от единичных нагрузок (силы и момента), приложенных на уровне поверхности грунта и определённых по приближенному методу (рис. 1, б).

Определить одну глубину заделки, одновременно удовлетворяющей условиям (4)-(7) не-

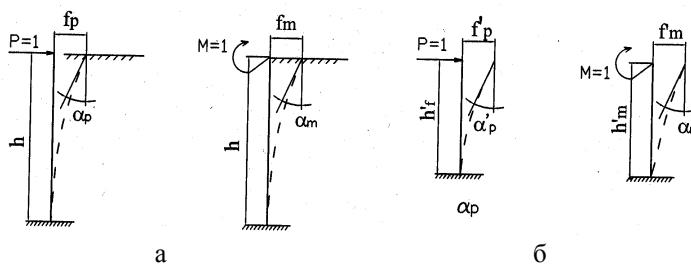


Рис. 1. Расчётные схемы свай

возможно [4]. Поэтому найдем две глубины заделки. Одна из них h_f должна одновременно удовлетворять условиям (4) и (5), другая h_α – условиям (6) и (7).

Прогиб сваи от единичной горизонтальной силы

$$f'_p = \frac{Ph_f^3}{3EI_f}. \quad (8)$$

Прогиб сваи от единичного момента

$$f'_m = \frac{Mh_f^2}{2EI_f}. \quad (9)$$

Подставляя (8) и (9) в (4) и (5) и учитывая, что $P=1$ и $M=1$, получим

$$h_f = \frac{3f_p}{2f_m}. \quad (10)$$

Аналогично определим глубину заделки, одновременно удовлетворяющей условиям (6) и (7):

$$\alpha'_p = \frac{Ph_\alpha^2}{2EI_\alpha}, \quad (11)$$

$$\alpha'_m = \frac{Mh_\alpha}{EI_\alpha}. \quad (12)$$

Подставляя (11) и (12) в (6) и (7) и учитывая, что $P=1$ и $M=1$, получим

$$h_\alpha = \frac{2\alpha_p}{\alpha_m}. \quad (13)$$

В формулах (8)-(12) EI_f и EI_α - изгибные жёсткости, соответствующие глубине забивки свай h_f и h_α .

Жёсткости EI_f и EI_α определим по точным значениям f_p , f_m , α_p и α_m и по найденным значениям h_f и h_α при $P=1$ и $M=1$:

$$EI_f = \frac{Ph_f^3}{3f_p} = \frac{Mh_f^2}{2f_m}, \quad (14)$$

$$EI_\alpha = \frac{Ph_\alpha^2}{2\alpha_p} = \frac{Mh_\alpha}{\alpha_m}. \quad (15)$$

Для расчёта свайного ростверка примем среднюю глубину заделки и среднюю изгибную жёсткость:

$$h = 0,5 (h_f + h_\alpha), \quad (16)$$

$$EI = 0,5 (EI_f + EI_\alpha). \quad (17)$$

Произведём оценку погрешности расчёта путём сравнения величин прогибов и углов поворота от единичных нагрузок, приложенных в уровне поверхности грунта, по приближённому и точному методам.

Для этого по найденным значениям жесткостей и глубины заделки определим прогибы и углы поворота в приближённой схеме на уровне поверхности грунта f'_p , f'_m , α'_p , α'_m при $P=1$ и $M=1$ по формулам (8),(9),(11),(12) f_p , f_m , α_p и α_m .

Оценка погрешности вычисления выполнена для железобетонной сваи сечением 30×30 см и для оболочки диаметром 1,6 м. Сравнение произведено при различных приведённых длинах сваи \bar{h} и способах опирания нижнего конца сваи.

Железобетонная свая выполнена из бетона с модулем упругости $2 \cdot 10^6$ тс/м². Коэффициент пропорциональности грунта $K=500$ тс/м⁴. Коэффициент деформации сваи $\alpha_c=0,3963$. Результаты расчётов для висячей сваи приведены в табл. 1. Прогибы и углы поворота представлены для глубин заделки сваи h_f и h_α , определённых по прогибам и по углам поворота, а также для средней глубины h . Как видно из табл. 1, для глубины h_f наблюдается точное совпадение между f_p , f_m , α_p и f'_p , f'_m , α'_p , для глубины h_α между f_m , α_p , α_m и f'_m , α'_p , α'_m , а для несовпадающих величин погрешность не превышает 11 %.

При средней глубине h наибольшие погрешности 10 - 11 % наблюдаются для f_p и α_m . В то же время, погрешности для f_m и α_p не превышают 1 %.

Таблица 1. Сравнительные результаты расчёта по точной и приближённой схеме

Приведённая глубина \bar{h}	$f_p \cdot 10^3$	$f'_p \cdot 10^3 /$ погрешность, %	$f_m = \alpha_p \cdot 10^3$	$f'_m = \alpha'_p \cdot 10^3 /$ погрешность, %	$\alpha_m \cdot 10^3$	$\alpha'_m \cdot 10^3 /$ погрешность, %
При глубине погружения сваи h_f , висячая свая						
1,0	17,932	17,932	9,513	9,513	5,718	6,730
1,5	8,056	8,056	2,900	2,900	1,228	1,392
2,0	4,776	4,776	1,374	1,374	0,5124	0,527
2,5	3,302	3,302	0,8545	0,8545	0,3282	0,294
3,0	2,702	2,700	0,6902	0,6902	0,2833	0,235
4,0	2,421	2,421	0,6373	0,6373	0,2728	0,2236
5,0	2,417	2,417	0,6373	0,6373	0,2725	0,2241
10,0	2,409	2,409	0,6365	0,6365	0,2721	0,2242

При глубине погружения свай h_α , висячая свая						
1,0	17,932	21,10	9,513	9,513	5,718	5,718
1,5	8,056	9,134	2,900	2,900	1,228	1,228
2,0	4,776	4,908	1,374	1,374	0,5124	0,5124
2,5	3,302	2,970	0,8545	0,8545	0,3282	0,3282
3,0	2,702	2,242	0,6902	0,6902	0,2833	0,2833
4,0	2,421	1,985	0,6373	0,6373	0,2728	0,2728
5,0	2,417	1,987	0,6373	0,6373	0,2725	0,2725
10,0	2,409	1,985	0,6365	0,6365	0,2721	0,2721
При средней глубине погружения свай h , висячая свая						
1,0	17,932	19,39 -8,132	9,513	9,451 0,656	5,718	6,142 -7,418
1,5	8,056	8,561 -6,275	2,900	2,889 0,392	1,228	1,299 -5,856
2,0	4,776	4,841 -1,36	1,374	1,374 0,018	0,5124	0,5198 -1,341
2,5	3,302	3,125 5,358	0,8545	0,8518 0,263	0,3282	0,3095 5,688
3,0	2,702	2,451 9,302	0,6902	0,6842 0,859	0,2833	0,2547 10,088
4,0	2,421	2,182 9,882	0,6373	0,631 0,969	0,2728	0,2433 10,763
5,0	2,417	2,181 9,749	0,6373	0,6313 0,943	0,2725	0,2436 10,608
10,0	2,409	2,177 9,636	0,6365	0,6306 0,922	0,2721	0,2436 10,474

Примечание: погрешность представлена только для средней глубины заделки.

При значительной глубине погружения свай для всех видов закрепления конца свай погрешность по предлагаемому методу не превышает 5,5%.

В табл. 2 и на рис. 2 представлены результаты сравнения средних погрешностей для висячих свай, свай-стоеч и свай, заделанных в скалу, по предлагаемому методу и по СНиП 2.02.03-85. Средние погрешности определены как среднее арифметическое погрешностей для f_p , f_m , α_p , α_m .

Из табл. 2 и рис. 2 видно, что средние погрешности по предлагаемому методу не превышают 6,5 %, в то время как по СНиП 2.02.03-85 они при $\bar{h} \geq 2,5$ достигают 19,7 %, а при $\bar{h} < 2,5$ погрешности достигают 80 % и более, что исключает применение приближённого метода.

Таблица 2. Средние погрешности методов, %

Приведённая глубина \bar{h}	Предлагаемый метод			По СНиП 2.02.03-85		
	Висячая свая	Свай-стойка	Свая, заделанная в скалу	Висячая свая	Свай-стойка	Свая, заделанная в скалу
1,0	-3,56	-5,19	0,02	-	-	-
1,5	-2,84	-2,80	0,47	71,8	46,7	-52,0
2,0	-0,67	-	-	42,4	-	-
2,5	3,19	6,45	3,64	10,2	-16,27	-21,45
3,0	5,45	-	-	-3,78	-	-
4,0	5,65	-	-	-19,7	-16,1	-15,9
5,0	5,56	-	-	-17,55	-17,8	-17,95
10,0	5,49	5,49	5,49	-17,86	-17,86	-17,86

Аналогичные результаты получены при расчёте свай-оболочек. Была рассчитана оболочка диаметром 1,6 м и глубиной погружения 7,37 и 10,0 м. Модуль упругости бетона $3 \cdot 10^6$ тс/м². Коэффициент пропорциональности $K = 5000$ тс/м⁴. Коэффициент деформации сваи $\alpha_c = 0,33913$ м¹. Сравнение произведено при нескольких приведённых длинах сваи и различных способах опирания нижнего конца сваи. Средние погрешности колеблются в пределах от 3,5 до 6 %.

Таким образом, предлагаемый метод приемлем для практического расчёта любых опор на свайных фундаментах с помощью компьютерных программ типа «RAMA», «Лира» и им подобных. Для этого в расчётной схеме опоры сваи в ростверке представляются в виде стержней с жёсткой заделкой в грунте. Каждая свая в ростверке разбивается на два участка с разными жесткостями. Первый участок расположен над грунтом. Для него жёсткости определяются для ствола сваи.

Второй участок расположен ниже поверхности грунта. Для него изгибная жёсткость определяется по приведённой ниже методике. Прогибы и углы поворота от единичных нагрузок f_p, f_m, α_p и α_m можно определить по компьютерной программе [5].

Продольная жесткость части сваи, находящейся в грунте, определяется обычным способом [4]. Для этого определяется условная длина сжатия сваи l_N :

$$l_N = \frac{7 \cdot 10^{-3} EA}{F_d}, \quad (18)$$

где ЕА – продольная жёсткость сваи, F_d – несущая способность сваи по грунту.

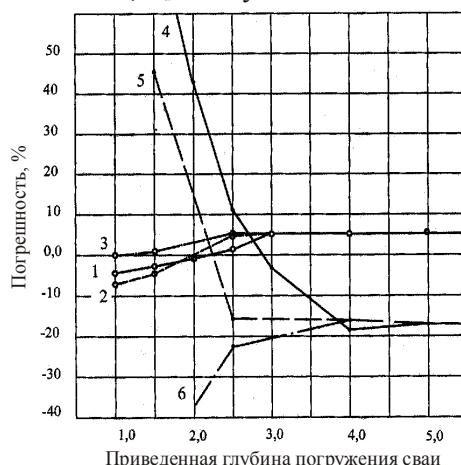


Рис. 2. Погрешности расчёта по предлагаемой методике и по СНиП 2.02.03-85:
1,2,3 – погрешности по предлагаемой методике соответственно для висячей сваи, сваи-стойки и сваи, заделанной в скалу; 4,5,6 – погрешности по методике СНиП 2.02.03-85 соответственно для висячей сваи, сваи-стойки и сваи, заделанной в скалу.

Так как условная длина сжатия не равна средней глубине заделки h , определённой по (16), то из условия равенства продольных деформаций сваи при разных длинах изменим продольную жёсткость сваи по формуле

$$EA_0 = \frac{h}{l_N} EA. \quad (19)$$

Жёсткости элементов опор и плиты ростверка определяются обычным способом.

Предлагаемый метод: значительно повышает точность расчёта по сравнению со СНиП 2.02.03-85 особенно для приведённой длины $\bar{h} \leq 2,5$; позволяет рассчитывать опоры с плитой ростверка, жёсткость которого сопоставима с жёсткостью свай; позволяет рассчи-

тывать фундаменты, в которых нагрузки на сваи приложены ниже плиты ростверка.

Список литературы

1. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты/ Госстрой СССР. – ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.
2. Глотов Н.М., Соловьев Г.П., Файнштейн И.С. Основания и фундаменты мостов: Справочник/ Под ред. К.С. Силина. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
3. Силин К.С., Глотов Н.М., Завриев К.С. Проектирование фундаментов глубокого заложения. – М.: Транспорт, 1981. – 252 с.
4. Завриев К.С., Шпиро Г.С. Расчёты фундаментов мостовых опор глубокого заложения. – М.: Транспорт, 1970. – 216 с.
5. Новиков Ю.М. Программа для расчёта свай на горизонтальную нагрузку. – Усть-Каменогорск, 1990.

Получено: 02.02.05.

УДК 697.727:620.193

К. Сейтжанов
ЦелСИМ, г. Алматы

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТОНКОМОЛОТОГО МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ЦЕМЕНТА

В данной статье приведены результаты исследований по определению физико-механических свойств тонкомолотого многокомпонентного цемента.

Для установления прочностных характеристик изучаемых вяжущих материалов образцы изготавливали согласно ГОСТ 310. Образцы размером 4x4x16 см и состава 1:3 (цемент: вольский песок) твердили в нормальных условиях в течение 28, 90 и 360 сут, после чего подвергались испытанию на прочность (изгиб и сжатие). Чтобы исключить влияние воды, расплыв конуса растворной смеси брали одинаковыми — 110...111 см. Содержание суперпластификатора С-3 составляло 1,5% по массе.

Полученные результаты приведены в таблице 1, из которой видно, что прочность образцов из исходного цемента через 28 сут составляет: на изгиб — 6,9 МПа; на сжатие — 50 МПа. Через 90 и 360 сут — соответственно составляет: 7,1 и 59 МПа; 7,4 и 62 МПа. Отсюда следует, что первоначальная прочность и рост прочности со временем невелик у образцов из исходного цемента.

В отличие от этих образцов, образцы с зольным цементом обладают повышенной первоначальной прочностью и наблюдается также приличный рост прочности со временем. Однако, с увеличением содержания золы, такая положительная тенденция имеет затухающий характер. Например, прочность образцов на сжатие из ТМЦ-90 через 28 сут твердения достигает 84 МПа, а через 60 сут — 111 МПа. Прочность же образцов из ТМЦ-50 соответственно составляет 73 и 83 МПа.

Таблица 1. Прочностные характеристики ТМЦ с добавкой 1,5% С-3

Вяжущее	В/Ц	Расплыв ко- нуса, мм	Предел прочности образцов (МПа):					
			при изгибе в возрасте, сут			при сжатии в возрасте, сут		
			28	90	360	28	90	360
Исходный цемент	0,27	110	6,9	7,1	7,4	50	59	62
ТМЦ-90	0,29	110	7,3	7,9	8,2	84	93	111
ТМЦ-85	0,31	111	7,0	7,4	8,0	80	86	92
ТМЦ-70	0,32	111	6,9	7,3	7,8	78	83	88
ТМЦ-50	0,35	111	6,8	7,0	7,4	73	77	83

Таким образом, тонкомолотые многокомпонентные цементы (ТМЦ) в сочетании с суперпластификатором С-3 являются высокоактивными вяжущими, превосходящими по прочности исходный обычный портландцемент. Необходимо подчеркнуть, что при получении ТМЦ с использованием золы необходимо соблюдать следующие технологические факторы:

- клинкерная часть ТМЦ должна быть в достаточном количестве, чтобы получить их с требуемой активностью;
- присутствие суперпластификатора С-3 в составе ТМЦ является обязательным, при этом его оптимальное содержание в вяжущем следует устанавливать опытным путем;
- в составе золы содержание несгоревшего углерода должно быть как можно меньше, вследствие его отрицательного действия на свойства ТМЦ;
- удельная поверхность ТМЦ должна быть как можно больше, однако в практическом плане она не должна быть меньше 500 м²/кг.

Процессы гидратации и фазообразования ТМЦ исследованы при помощи оптического микроскопа МИН-8, дериватографа МОМ-1500.

В таблице 2 показана степень гидратации ТМЦ. Ее данные позволяют утверждать, что:

- с повышением концентрации С-3 степень гидратации как исходного цемента, так и ТМЦ уменьшается;
- с увеличением содержания золы гидратационные процессы в твердеющей системе замедляются;
- с увеличением сроков твердения цементного камня степень гидратации возрастает, однако, она имеет затухающий характер.

Таблица 2. Степень гидратации ТМЦ в зависимости от содержания золы и суперпластификатора С-3, сроков хранения

Вяжущее	Содержание С-3	Степень гидратации (%) через сут:		
		28	90	360
Исходный цемент	0,5	11,3	14,8	16,0
	2,0	9,5	12,3	14,2
ТМЦ-90	0,5	13,2	16,7	21,2
	2,0	11,3	15,0	17,5
ТМЦ-85	0,5	12,3	15,8	17,8
	2,0	10,8	14,5	16,7
ТМЦ-70	0,5	10,8	13,5	15,2
	2,0	10,1	12,8	14,3
ТМЦ-50	0,5	9,9	11,5	13,2
	2,0	7,3	8,9	12,1

Из данных таблицы 2 можно заключить, что максимальная степень гидратации наблюдается у ТМЦ-90, которая достигает через 28 сут 11,3-13,2% (в зависимости от содержания С-3), через 90 сут – 15,0...16,7%, через 360 сут – 17,5...21,2. В то же время степень гидратации исходного цемента меньше и она характеризуется следующими показателями: через 28 сут – 9,5...11,3%; через 90 сут – 12,3...14,8%; через 90 сут – 14,2...16,2%, несмотря на то, что клинкерная часть у исходного цемента на 10% больше, чем у ТМЦ-90. Это наводит на мысль, что при малом содержании золы (можно предполагать до 10% по массе) служит катализатором гидратационных процессов составляющих портландцементного клинкера.

Данные термогравиметрических кривых (рис. 1) ТМЦ, твердевших в течение 360 сут в нормальных условиях, подтверждают выводы о степени их гидратации, полученные с помощью МИН-8. Наибольшая потеря массы, наблюдалась у ТМЦ-90, характеризует лучшую степень его гидратации.

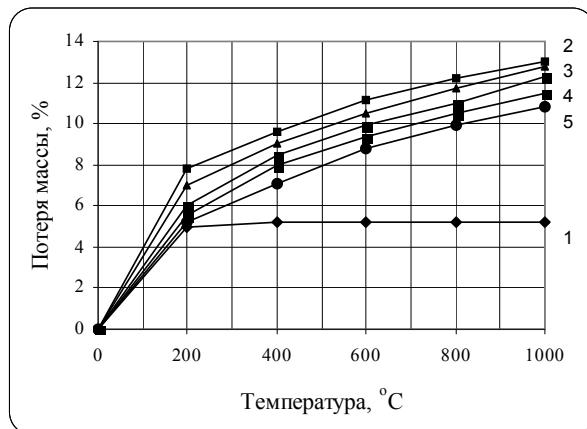


Рис. 1. Термогравиметрические кривые ТМЦ, твердевших в течение 360 сут: 1 – исходный негидратированный ТМЦ-50; 2 – ТМЦ-90; 3 – исходный цемент; 4 – ТМЦ-85; 5 – ТМЦ-70; 6 – ТМЦ-50

На рис. 2 показаны термограммы ТМЦ, твердевших в течение 360 суток. Как видно из этого рисунка на графиках ДТА цементного камня ТМЦ преимущественно обнаруживаются четыре эффекта. На ДТА цементного камня исходного цемента имеются три эндоэффекта: при 120°C обусловлен потерей свободной и адсорбционной воды, связанной с гелевидной фазой цементирующих гидратированных новообразований, при 410°C характеризуется наличием свободной извести в составе цементного камня, а при 790°C, характерен для высокоосновных гидросиликатов кальция и карбоната кальция.

На ДТА цементного камня из ТМЦ имеются три эффекта, характеризующие гидратные фазы, и один экзоэффект в области 410-450°C, обусловленный раскристаллизацией исходной золы. Эндоэффект при 135°C показывает дегидратацию новообразований (гелевидных фаз, субмикрокристаллических гидросиликатов кальция и гидроалюмоферритов). Пики при 760-780°C показывают наличие в цементном камне высокоосновных гидросиликатов и карбонатов кальция. А экзоэффект при 810-890°C обусловлен разложением низкоосновного гидросиликата кальция типа CSH (I). Необходимо отметить, что в цементном камне из ТМЦ свободная известь отсутствует в результате ее взаимодействия с составляющими золы.

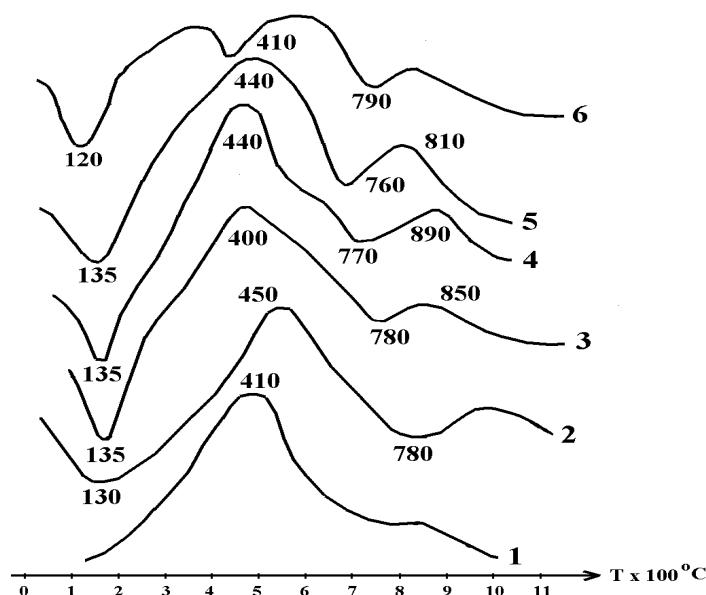
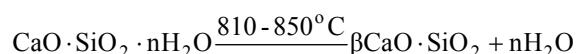
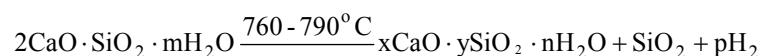
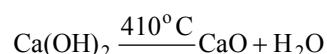
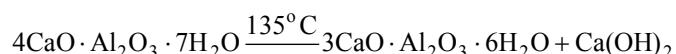
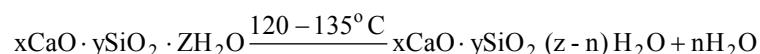


Рис. 2. Термограммы TMZ, твердевших в течение 360 сут:
1 – исходный негидратированный TMZ-50; 2 – то же, гидратированный; 3 – TMZ-70;
4 – TMZ-85; 5 – TMZ-90; 6 – гидратированный исходный цемент

Дегидратационные процессы и фазовые превращения, происходящие в пробах при съемке на установке МОМ-1500 протекают по следующим схемам:



Вышеизложенные экспериментальные данные о получении тонкомолотых многокомпонентных цементов с использованием золы позволяют сделать следующие выводы:

1. На основе золы можно изготавливать TMZ, имеющие повышенную активность, при условии, если содержание золы в составе вяжущих находится в пределах 10-50% по массе и при этом одновременно присутствует суперпластификатор С-3 в заданном количестве; удельная поверхность TMZ должна быть выше 500 м²/кг.

2. Суперпластификатор С-3, как правило, замедляет скорость структурообразования теста, степень гидратации цементного камня, однако вследствие пониженного водоцементного отношения в присутствии С-3 прочность цементного камня существенно возрастает.

3. Показано, что прочность TMZ в зависимости от содержания золы достигает (в МПа) через 28 сут – 73...84, через 90 сут – 77...93, через 360 сут – 83...111, тогда как у

образцов из исходного цемента этот показатель соответственно имеет 50, 59 и 62 МПа.

4. Степень гидратации ТМЦ, твердевших в течение 360 сут, колеблется в пределах 12-21%, а у исходного портландцемента – 11...16%. Фазовый состав у гидратированного ТМЦ представлен гелеобразованной гидратной фазой, алюмоферритовым новообразованием и низко- и высокоосновными гидросиликатами кальция.

Список литературы

1. Лещинский М.Ю. Испытание бетона. М.: Стройиздат, 1980. – 360 с.

Получено: 25.03.05

