

ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА НА АКТИВИРОВАННЫХ КОМПОНЕНТАХ

Кучеренко Р.А., Албу-Хасан А. М. А. аспирант

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры.
Украина*

Прочность раствора определяется, в основном, прочностью затвердевшего вяжущего. А последняя определяется активностью вяжущего и воды. Активность их можно увеличить механообработкой жидкой фазы и химической активацией вяжущего.

Механоактивация жидкой фазы бетона. Прочность раствора в основном зависит от его состава и В/Ц. Поэтому эти факторы приняты при определении эффективности механоактивации воды для затворения растворных смесей. Определяли её на образцах-кубах с ребром 7,07 см, затворённых на обычной и механоактивированной воде.

На рис. 1а приведены результаты испытаний цементно-песчаного раствора разного состава на песке Никитовского карьера г. Вознесенск с модулем крупности $M_k=2,3$ и цемента ПЦ П/А-Ш 400 Одесского завода.

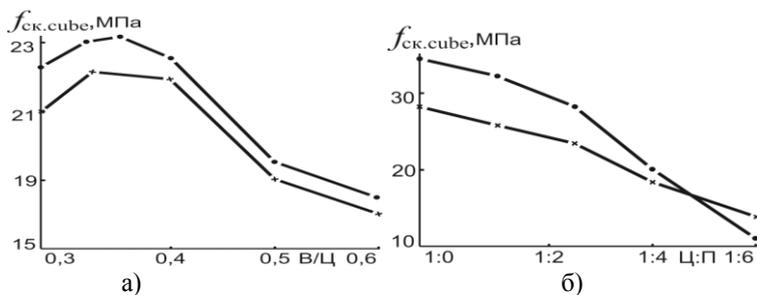


Рис.1. Изменение кубиковой прочности раствора разного состава (а) и разного В/Ц (б) на обычной (— x — x —) и механоактивированной (— • — • —) воде затворения

Для каждого состава существует своя прочность. Сравнивая их видим, что наибольшая прочность принадлежит раствору состава Ц:П=1:1, т.е. у которого все межзерновые поры песка заполнены цементом, а толщина цементных прослоек на зёрнах песка обеспечивает

требуемую удобоукладываемость раствора. Такие растворы относятся к жирным составам Ц:П=1:1 и 1:2. В них повышенное количество цемента, что обеспечивает эффективность механоактивации воды и ведёт к повышению прочности. Это связано с тем, что механоактивация воды тесно связана с расходом цемента и его гидратацией с активированной водой. Наоборот, тощие растворы (Ц:П=1:3 и 1:4), в которых цемента меньше и эффективность механической активации снижается.

Аналогичная закономерность изменения свойств растворной части бетона наблюдается и при изменении водоцементного отношения, рис.1б. Там, где больше механоактивированной воды ($V/C=0,65$), то при $C=Const$ эффективность механоактивации выше. Это может свидетельствовать только о влиянии механоактивации именно на химизм и степень гидратации минералов цемента с энергетически более активной водой затворения растворной смеси.

Прочность раствора при сжатии определена также на образцах-кубах с ребром 10 см, на портландцементе М400 одесского цементного завода и на гранитном щебне фракции 5-20 мм Первомайского карьера. Она в сильной мере определяется содержанием жидкой фазы и степенью её активации. Если при $V/C=0,4$ она находится в пределах 24-28,2 МПа. При $V/C=2$ она понижается в 3-4,7 раза. Это соответствует известным закономерностям $R=f(V/C)$. Интересно, что механическая активация водной суспензии цемента при $V/C=0,4$ наиболее эффективна. Сравнительно с обычным приготовлением смеси прочность бетона повышается на 17,5% после активации. По мере увеличения V/C до 1 эффективность механоактивации исчезает, т.к. прочности бетона выравниваются. При $V/C=2$ механическая активация уже вредна, т.к. прочность бетона снижается на 25% сравнительно с её отсутствием. Объяснить это можно тем, что при пониженных концентрациях водных суспензий и интенсивной механоактивацией их зёрна цемента диспергируют. Размеры зёрен уменьшаются. Толстые водные оболочки длительно не позволяют твёрдым компонентам приближаться друг к другу и синтезировать. Длительная сохранность суспензии замедляет процессы набора прочности бетона. Толщина водной пленки снижается с увеличением дисперсности твёрдого компонента.

Прочность бетона при сжатии ($f_{ck,kube}$) определяли на образцах-кубах с ребром 10 см из рабочего состава и испытывали в возрасте 28 суток. Чем выше скорость вращения лопастей активатора, а, следовательно, выше степень активации, тем выше прочность бетона, рис 1. По мере повышения степени механоактивации, за счёт увеличения числа оборотов ротора, прочность бетона повышалась, сравнительно с контрольной (25 МПа), т.е. без механоактивации. При числе оборотов механоактиватора 2800 в мин, рекомендуемом

Барабаш И.В., увеличение прочности бетона составило 9,5%. При 11000 об/мин прочность бетона повысилась на 14%. При повышении числа оборотов механоактиватора до 2800 в мин прирост прочности бетона составил 3,4% на каждую 1000 оборотов. Дальнейшее увеличение числа оборотов до 11000 привело к приросту прочности всего лишь на 0,7%, на каждую 1000 об/мин что экономически не выгодно. Возможно высокооборотный механоактиватор мог бы быть оправдан для активации жидкой фазы при производстве пористого бетона, так как присутствует эффект воздухововлечения. В связи с этим за оптимальный принимаем механоактиватор с 2800 об/мин. При этом длительность активации воды составила 2 мин.

Преимущество механической активации в стабильном снижении вязкости бетонной смеси и повышении на 12-15% прочности бетона марок 200-500, затворенных на портландцементе марки 500 нормальной густоты 27% и испытанных на кубах с размером ребра 10 см, таблица 1. Данные этой таблицы свидетельствуют о стабильном улучшении свойств смеси и бетона на.

Таблица 1. Свойства бетонной смеси и бетона марок 200-500

Марка бетона	200	300	400	500
Вязкость смеси, сП: обычной	1150	1172	1210	1280
механоактивированной	985	990	1050	1175
% снижения вязкости	14,3	15,5	13,2	8,0
Прочность бетона, МПа: обычного	251	322	415	500
после механоактивации	289	349	467	510
% повышения прочности	15	8,4	12,9	12

Механическая активация 20% ПЦ марки 400 с В/Ц=4 повышает прочность бетона при сжатии на 22%, а при изгибе – на 13% сравнительно с контрольными (без механоактивации). Очевидно, эта часть цемента в составе раствора как механоактивированная и активная выступает в роли затравки при гидратации оставшейся части большего количества цемента.

Активация известкового вяжущего. Прочность кварцевого песка всегда велика и не подлежит сомнению. Прочность известкового или известково-гипсового вяжущего, особенно в присутствии арагонита, требует изучения. Поэтому в опытах принят промытый кварцевый песок Никитинского карьера г. Вознесенска. Количество его постоянно при изготовлении контрольных и исследуемых образцов. В таком случае определяющим фактором остаётся содержание известкового или известково-гипсового вяжущего в растворе с постоянной удобоукладываемостью смеси компонентов. Формовали образцы-кубы с размером ребра 7,07 см и испытывали в заданном возрасте вплоть до 180 сут.

Прочность при сжатии *известкового вяжущего* зависит от многих факторов, основным из которых является водоизвестковое отношение. Она определена в диапазоне В/И=0,35–1,1, а прочность определена на контрольных образцах, когда комовая известь гасилась водой и на исследуемых, когда комовая известь гасилась водным раствором жидкого стекла концентрацией 6%. Результаты исследований в возрасте 28 суток приведены в таблице 2.

Таблица 2. Влияние В/И отношения на прочность известкового камня

Наличие активизатора	Прочность при сжатии, МПа, при В/И отношении							
	0,35	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
нет	0,87	0,70	0,65	0,61	0,57	0,56	0,45	0,38
жидкое стекло	1,10	0,98	0,88	0,81	0,75	0,70	0,66	0,45

Закономерность изменения прочности известкового камня от величин В/И сохраняется независимо от способа гашения комовой извести. Однако, известковый камень прочнее из того теста, которое получено после гашения комовой извести водным раствором жидкого стекла. Увеличение прочности составило 26% при В/И=0,35 и 18,4% при В/И=1,1.

Аналогичные результаты получены и при изучении раствора с разным количеством вяжущего, $V_{и}$, (извести и гипса) в диапазоне от И:Г=90:10 до И:Г=50:50. Состав бетона $V_{ц}$:П:Щ=1:2,75:3,9 при $V/V_{и}=0,67$. В возрасте 28 суток получены прочности в диапазоне классов бетона В7,5-В10, что отвечает требованиям ДСТУ Б В 2.7–23–95. Здесь так же стабильно отмечено преимущество в прочности раствора с арагонитом. Так, для 1 м^3 бетона с вяжущим состава И:Г=90:10 на модифицированном тесте и состава И:Г=80:20 на обычном тесте прочность при сжатии одинакова. Однако в первом случае экономия извести составляет 10%.

Рост прочности затвердевшего модифицированного известкового вяжущего более интенсивен в ранние сроки и замедленный – в последующие. Так, в возрасте 28 суток на гидратной извести прочность выше на 15–40%, а на извести-пушонке – почти в 2 раза. В возрасте 90 суток, наоборот, у известкового теста есть резерв некарбонизированных $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и прочность выше на 11%, а на пушонке – на 8%. Но в любом случае эффект модификации выше и достигает 40%. рис. 2

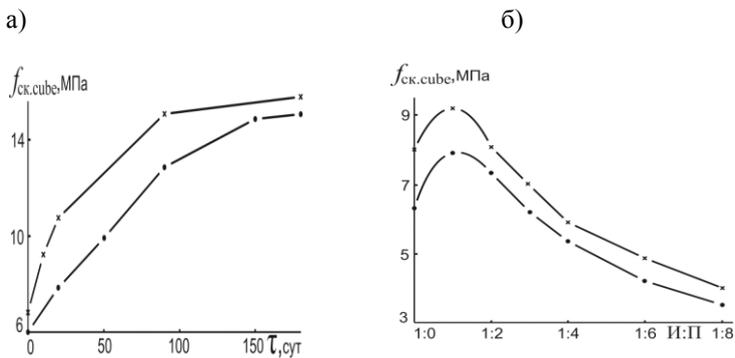


Рис. 2. Изменение прочности известково-песчаного раствора во времени (а) и в зависимости от соотношения И:П (б) известковом вяжущем обычном (•) и на модифицированном (x)

Прочность образцов из известково-песчаного раствора при В:И=1:3 контрольного (•) и исследуемого (x) составов приведена на рис. 2 и определена согласно ГОСТ 5802-86 на образцах-кубах с размером ребра 70,7 В исследованиях соотношение известково-гипсового вяжущего составляет И:Г=90:10, а соотношение между этим вяжущим и песком изменяется в пределах от 1:0 до 1:8. Испытаны образцы в возрасте 28 суток. Данные исследований свидетельствуют о практически одинаковой закономерности изменения прочности от количества мелкого заполнителя. Чем меньше известково-гипсового вяжущего, тем ниже прочность. В исследуемом диапазоне содержания песка она уменьшилась практически в 2 раза. Прослеживается чёткая закономерность: чем больше известково-гипсового вяжущего, тем выше прочность раствора. Это особенно заметно в сравнении прочности раствора на известковом тесте, полученным после гашения комовой извести водой и водным раствором жидкого стекла. В случае использования модифицированной $\text{Ca}(\text{OH})_2$ прочность известкового камня выше на 14-16,5%. При этом заметна тенденция: чем больше известковой составляющей в комплексном вяжущем, тем выше прочность.

Возможность и преимущества использования бетона для производства стеновых блоков на модифицированном вяжущем определена на образцах-кубах с ребром 10 см. В качестве исходного сырья приняты: известково-гипсовое вяжущее И:Г=60:40 в количестве 350 кг/м^3 , зола-унос Ладыженской ТЭС – 100 кг/м^3 [117], песок кварцевый – 650 кг/м^3 и гранитный щебень фракции 5–20 мм – 1170 кг/м^3 . Подвижность бетонной смеси ОК=6–8 см. Водопотребность бетонной смеси – 260 л/м^3 . Марка бетона 150. Известковое тесто обычное и модифицированное водным раствором жидкого стекла и водной эмульсией ГКЖ-94 концентрацией 6%. Коэффициент качества

заполнителей $A=0,6$. Коэффициент раздвижки зёрен заполнителя – 1,2. Состав бетона рассчитан по методу абсолютных объёмов. Бетонные образцы хранились 28 суток в нормальных условиях. В исследованиях приняты три состава бетона, два из которых отличаются от базового на $\pm 10\%$. По истечении 28 суток определяли прочность при сжатии, водопоглощение за 48 ч хранения в воде и коэффициент размягчения. Данные исследований приведены в таблице 3.

Данные таблицы 3 свидетельствуют о лучших физико-механических характеристиках бетона, изготовленного на базе известкового теста, гашеного водными раствором и эмульсией. При этом, прочность конструкционного бетона марки 150 выше в среднем на 17% при модификации жидким стеклом и на 14% – кремнийорганической жидкостью. При постоянной прочности бетона экономия вяжущего составляет в первом случае 35, а во втором – 40 кг/м^3 . Водопоглощение бетона, соответственно, ниже на 19,9% и в 2,1 раза. Коэффициент размягчения, характеризующий водостойкость бетона, выше на 15% при гашении извести жидким стеклом и на 26% – эмульсией ГКЖ-94.

Таблица 3. Физико-механические свойства бетона

Вид модификатора	Расход вяжущего, кг/м^3	Прочность при сжатии, МПа		Коэффициент размягчения	Водопоглощение
		сухих	влажных		
нет	315	13,4	9,7	0,70	21,1
	350	15,3	9,7	0,70	
	365	17,3	11,2	0,75	
жидкое стекло	315	14,7	12,1	0,82	17,6
	350	17,9	15,0	0,84	
	365	20,9	17,7	0,85	
ГКЖ-94	315	13,5	14,4	0,90	9,8
	350	17,4	16,0	0,92	
	365	17,9	16,8	0,94	

Выводы

Доказано преимущество механической активации жидкой фазы в системе «бетон-водные растворы добавок»: стабильное снижение вязкости бетонной смеси и повышение на 12-15% прочности бетона марок 200-500. Механоактивация 20% ПЦ марки 400 с В/Ц=4 повышает прочность бетона при сжатии на 22%, а при изгибе – на 13% сравнительно с контрольными (без механоактивации).

Независимо от вида известкового вяжущего, состава и возраста бетона закономерность изменения прочности затвердевшего известкового вяжущего, раствора и конструкционного бетона сохраняется. Но в любом случае, при прочих постоянных параметрах, химическая модификация известкового вяжущего ведёт к увеличению прочности бетона на 14-17% и даёт экономию 15-20% известкового теста. Расчётный экономический эффект, от утилизации тепла и от экономии известкового вяжущего, составил 9,55 грн. на 1м³ бетона.

Summary

The advantage of mechanical activation of liquid phase of the system “concrete-water solutions of compounds” is proved: stable decrease of concrete mixture viscosity and increase of strength of concrete of marks 200-500. Modification of lime cement within the process of lump lime slacking with aqueous solutions of active materials leads to 14-17% increase of concrete strength and saves 15-20% of lime putty.