

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ БЕТОНОВ НА МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛАХ ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Гара А.А., Коваль С.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г.Одесса, Украина)

Сапожников В.А. (ОАО «Монолитстрой», г.Одесса, Украина)

Приведены результаты исследования и применения в бетонах монолитных конструкций малоэтажных зданий местных материалов совместно с химическими добавками.

В настоящее время операторы строительного рынка сталкиваются с ситуацией стремительного роста цен на стройматериалы. С 2006 года во всех регионах ожидается рост цен на цемент и искусственные пористые заполнители (типа керамзитового гравия) в связи с увеличением стоимости газа и других энергоносителей, используемых в их производстве. Для строительства этот фактор играет принципиальную роль. Так, возможное удорожание цемента на 20-40% влечет за собой существенное удорожание рыночной стоимости объектов.

Сотрудниками кафедры ПАТСМ совместно с ОАО «Монолитстрой» получены положительные результаты по использованию в качестве заполнителей бетонов местных материалов, в том числе, отходов известнякового камнепиления, золы-унос ТЭС, отработанной формовочной смеси, что является перспективным направлением снижения себестоимости строительства малоэтажных зданий в монолитном исполнении и уменьшения негативной нагрузки на окружающую среду.

Применение химических добавок позволяет обеспечить заданные свойства бетона при рекуперации в бетон отходов промышленности. Здесь возможны варианты, в которых добавка выступает в виде «компенсатора» или в роли «расширителя» качества [1]. Введение отхода в экономически целесообразном количестве M_0 снижает качество бетона на ΔY - (рис. 1.а), но введение добавки - «компенсатора» позволяет добиться нормативного уровня $Y_{\text{норм}}$. Введение отхода без снижения уровня качества $Y_{\text{норм}}$ возможно в количестве M_0 (рис.1.б). Однако, если значение M_0 не обеспечивает выполнение экономических требований, то вводится добавка- «расширитель», при котором оптимальный уровень $Y_{\text{опт}}$ может не изменяться, но количество отхода M_0^M , соответствующее $Y_{\text{норм}}$, увеличивается.

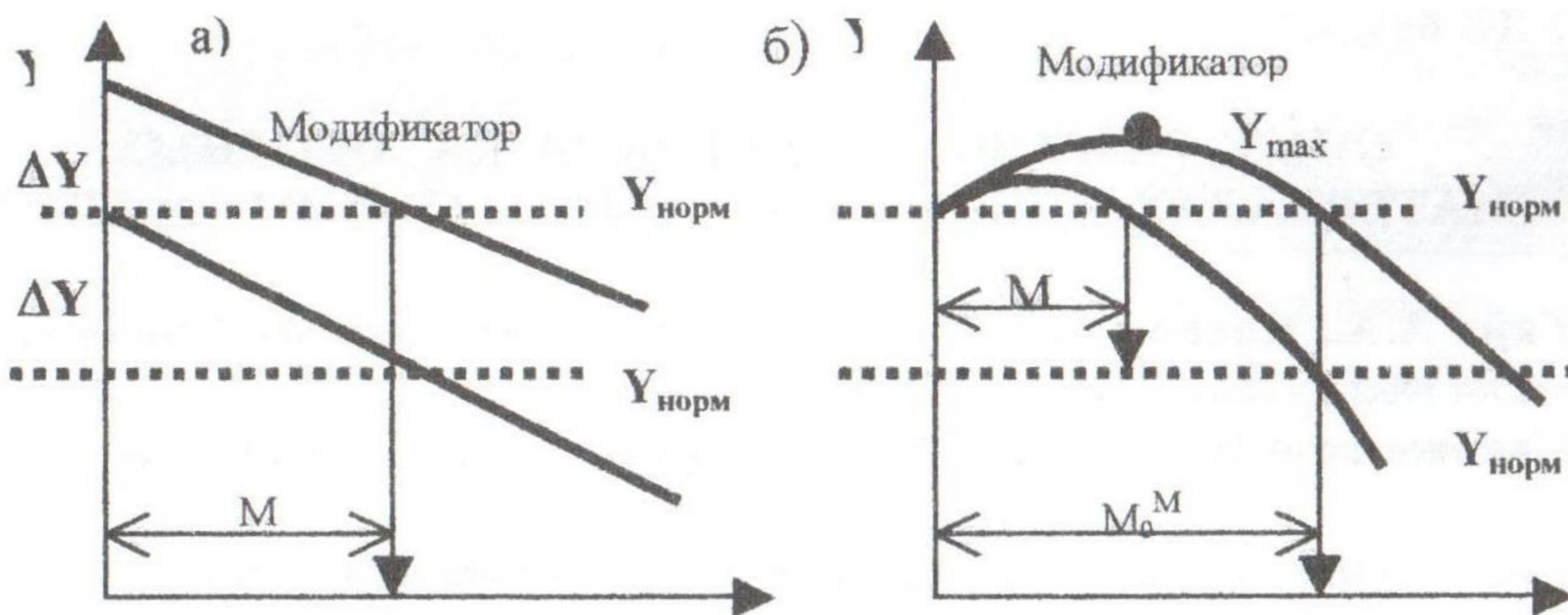


Рис. 1. Варианты использования химической добавки как «компенсатора» (а) и «расширителя» (б) качества бетона при рекуперации отхода

В группу критериев качества бетона для конструкций малоэтажных зданий входили подвижность бетонной смеси, ее расслаиваемость (не более 6%), плотность бетона ($\rho=1400-1800 \text{ кг/м}^3$ с учетом проектируемой толщины стен или их специальной теплоизоляции) и его прочность при сжатии в контрольные сроки твердения. Прочность бетона при сжатии определялась на кубах с ребром 10 или 15 см параллельно с использованием приборов неразрушающего контроля (молоток Кашкарова, ультразвук) для построения корреляционных зависимостей с целью контроля качества бетона в стенах.

Для химического модифицирования использовался лигносульфонат технический (ЛСТ), отличающийся невысокой стоимостью среди большой группы строительных ПАВ. Влияние ЛСТ определяется наличием функциональных гидроксильных и карбоксильных групп с высокой адсорбционной активностью. Использование добавок типа ЛСТ позволяет улучшить удобоукладываемость бетонной смеси (при неизменной прочности бетона) и увеличить прочность бетона за счет снижения содержания воды (при неизменном расходе цемента) [2].

Большая часть составов проектировались по оптимальным планам экспериментов, что позволило получить экспериментально-статистические зависимости и разработать по ним регулировочные номограммы для расчета состава бетона. С технической точки зрения задача заключалась в определении таких составов, в которые бы входило максимально возможное количество отходов при выполнении нормированных требований к качеству бетона.

Замена отходами известнякового камнепиления (ОИК) заполнителей в бетонах. При добыче и переработке карбонатного сырья в отходы (мелкая фракция при дроблении и обрезки камнепиления) уxo-

дит от 10 до 50%. Кроме того, предприятия сталкиваются и с экологическими проблемами, так как при складировании ОИК занимают значительные площади земель, увеличивается пылевая нагрузка на окружающую среду и т.д. Исследованиями школы проф. П.Л.Еременок показаны многие положительные стороны применения ОИК в бетонах. В то же время вопросы улучшения свойств смесей и бетонов с ОИК за счет использования химических добавок продолжают представлять научный и практический интерес.

В первом эксперименте с ОИК варьируемыми факторами являлось соотношение масс цемента М400 и ОИК ($n=Ц/ОИК=0,1; 0,15; 0,20$), а также подвижность смеси ($ОК=1-11$ см). Использовался ОИК с максимальным размером зерен 10 мм и взамен песка, и взамен щебня. Полученные бетонные смеси характеризуются водопотребностью от 240 до 400 л/м³. Повышенное содержание воды в бетонных смесях обусловлено свойствами известняка, имеющего высокую пористость и водопоглощение, что определяет эффективность использования пластифицирующих и водоредуцирующих добавок [3].

На рис.2 показано влияние добавки ЛСТ как „компенсатора” прочности при увеличении содержания ОИК от 0 до 20% в бетоне. При обеспечении распалубочной прочности $R^3=3$ МПа и «марочной» $R^{28}=10$ МПа введение ЛСТ позволяет увеличить содержание ОИК и получать смеси лучшей удобоукладываемости.

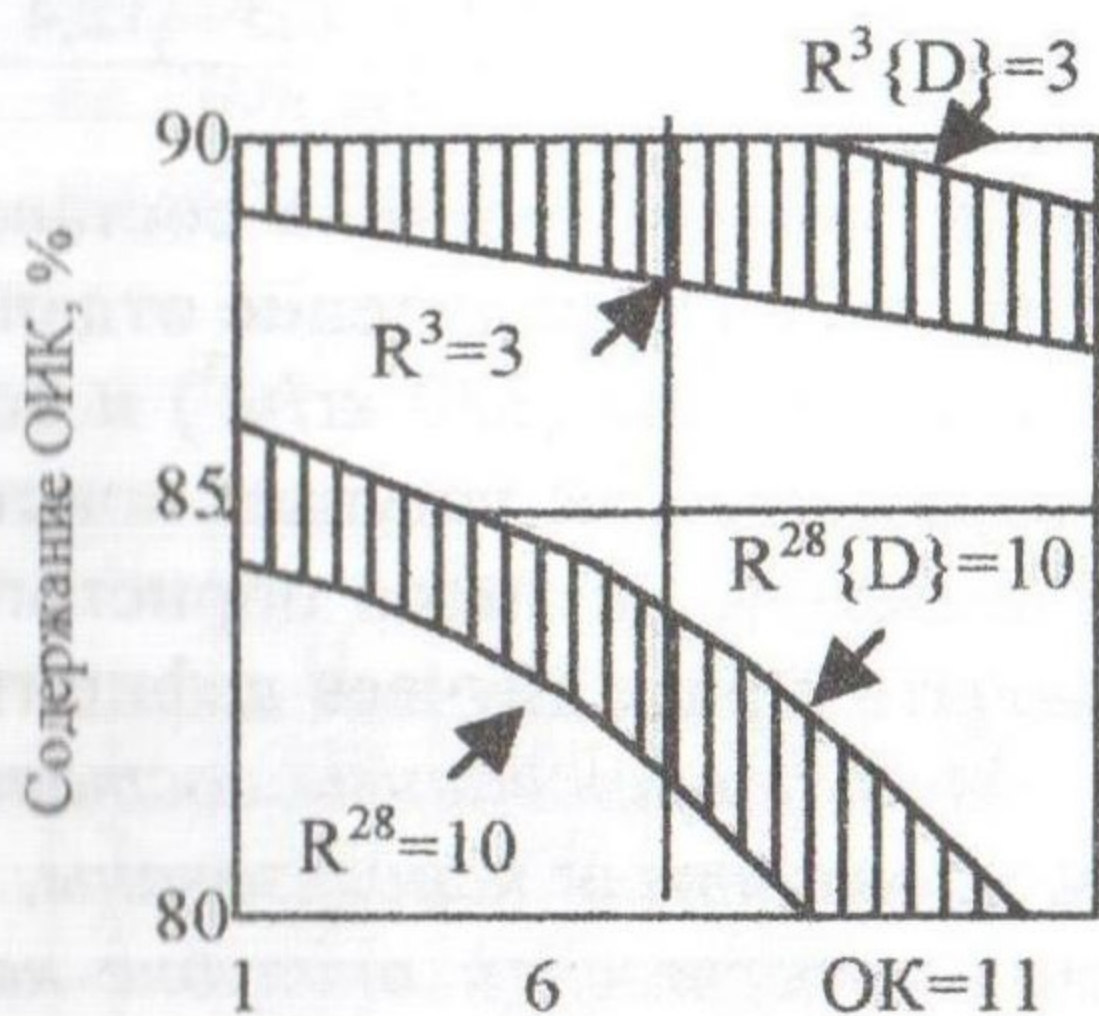


Рис.2. Компенсирующее влияние добавки ЛСТ на прочность бетона с ОИК

С помощью аналогичных номограмм были определены составы бетонов на ОИК прочностью $R^{28}=5-15$ МПа, плотностью 1750-1850 кг/м³ при подвижности смеси от 1-3 до 10-11 см. Они использованы как для изготовления стеновых блоков, в том числе методом прессования на установке бельгийской фирмы „Ситадоб”, так и для возведения монолитных стен гаражей (при $Ц=300$ кг/м³, $ОИК=1800$ кг/м³, $ЛСТ=0,15\%$ морозостойкость не менее 50 циклов, водопоглощение $\leq 10\%$, коэффициент размягчения $\leq 0,15$) [3].

Жизнеспособность смеси важна с точки зрения транспортирования смесей от промбазы до объектов монолитного строительства, особенно в летний период. Потеря подвижности смеси состава №4 с ОИК при $T=+20$ °С за первые 30 мин составила 4 см, а через 60 мин ОК снизи-

лась до 4 см. Учитывая наличие добавки ЛСТ в составе смеси №5 и возможность их перемешивания в автобетоносмесителе при перевозке, удобоукладываемость и однородность непосредственно на стройобъекте сохраняется на достаточном уровне [3].

Задача замены песка добавкой ОИК в керамзитобетоне класса В5-12,5 (ОК=10-12 см), содержащем керамзитовый гравий фр.5-20 (Кр) плотностью $\rho=600 \text{ кг/м}^3$ и смесь керамзитового (Крп) и кварцевого (Квп) песков, решалась, в частности, с учетом заданной ТУ плотности бетона $\rho=1400 \text{ кг/м}^3$, прочности перед распалубкой ($R \geq 3 \text{ МПа}$) и нагружением стен ($R \geq 50\% R^{28}$). Исходя из требований к бетону, рекомендованы составы (табл.1) с ОИК как без добавки, так и с ЛСТ, вводимой для снижения водосодержания бетонной смеси.

Таблица 1

Составы и прочностные характеристики керамзитобетона с ОИК

№	Содержание компонентов, кг/м ³							ρ кг/м ³	R, МПа, сут		
	Ц	В	Кр	ОИК	Крп	Квп	ЛСТ %		3	7	28
1	320	300	370	-	197	463	-	1380	3,5	7,2	14,4
2	330	320	400	635	-	-	-	1375	3,0	5,7	8,0
3	380	335	400	570	-	-	-	1360	3,2	6,8	10,4
4	280	300	400	685	-	-	-	1380	2,8	5,2	7,9
5	320	290	400	650	-	-	0,15	1370	3,1	6,3	12,4

Для сравнения были испытаны образцы керамзитобетона состава, применявшегося «Монолитстроем» (состав №1). Предпочтение отдано составу №4 с ОИК=650 кг/м³, содержанием цемента (320 кг/м³) и добавкой ЛСТ(0,15%), который по своим параметрам не уступает конструкционно-теплоизоляционному керамзитобетону на смеси пористого и плотного песков, что позволило исключать в ряде случаев дефицитные мелкие заполнители из его состава. Модифицированные составы керамзитобетона с ОИК в виде мелкого заполнителя использованы, в частности, для бетонирования в объемно-переставной опалубке наружных стен верхних технических этажей десятиэтажных домов по ул.Добровольского в Одессе, а также при строительстве коттеджей в Овидиопольском р-не.

Использование золы-унос (ЗУ) для замены части цемента. До сих пор не используются значительные количества техногенных травертинов, которые накапливаются на ТЭЦ и представляют собой проблему при их утилизации. Наиболее крупным потенциальным потребителем золы-унос является промышленность строительных материа-

лов, где удельный вес сырья достигнет 50%. Однако бетоны с золой-унос характеризуются в основном пониженной прочностью, что сдерживает широкое ее использование в производстве бетона и сборного железобетона. Влияние на свойства бетона с использованием зол оказывают [2]:

- соотношение золы и цемента в бетоне;
- несгоревшие углистые остатки, стеклофаза, сернистые соединения;
- гидравлическая активность золы.

После анализа свойств золы Кучурганской ТЭС (как одной из крупных ТЭС; наиболее близко расположенной от Одессы) был сделан вывод о ее малой пригодности вследствие того, что этот отход получен в результате гидроудаления и имеет весьма нестабильный химический состав. Поэтому анализировалась возможность применения в качестве дисперсной добавки золы-унос Ладыженской ТЭС.

Результаты экспериментов (табл.2, 3) показали, что введение золы-унос Ладыженской ТЭС в количестве 10% от массы цемента (33 кг/м^3) практически не изменяет прочность бетона. Также эффективно совместное введение золы и ЛСТ для снижения содержания воды затворения без изменения удобоукладываемости смеси ($\text{ОК}=8 \text{ см}$). Бетонные смеси с заполнителями в виде золы-уноса обладают большей вязкостью, лучшими транспортабельностью и перекачиваемостью, меньшим водоотделением и расслоением. Зола-унос использовалась в составе легкого бетона класса В12 и тяжелого бетона класса В15 в количестве 20% при изготовлении стеновых элементов и фундаментных блоков на объектах ОАО «Монолитстрой».

Таблица 2

Влияние золы-унос на прочность керамзитобетона

№	Расход компонентов, кг/м ³						ρ кг/м ³	Прочность, МПа, сут			
	Ц	Кр	Крп	Квп	В	ЗУ		1	5	14	28
1	330	400	248	372	310	-	1280	3,1	5,1	9,5	14,3
2	330	400	235	352	305	33	1311	2,4	7,4	8,3	12,7
3	297	400	250	375	320	33	1368	2,3	7,7	9,5	14,0
4	264	400	252	378	300	66	1243	2,2	7,2	8,1	11,5
5	264	400	252	378	290	66	1283	1,9	6,6	7,6	10,5

Примечание: Состав №5 содержит 0,15% ЛСТ от массы цемента

Влияние золы-унос на прочность тяжелого бетона

№	Расход компонентов, кг/м ³					ОК см	Прочность, МПа, сут			
	Ц	Квп	Щ	В	ЗУ		1	5	14	28
1	330	698	1046	230	-	7	5,5	14,8	16,5	19,3
2	330	675	1013	240	33	8	4,0	13,2	14,1	17,8
3	297	697	1045	230	33	8	4,2	11,7	16,2	17,2
4	264	696	1044	230	66	9	4,0	10,6	16,6	18,5
5	264	706	1060	220	66	10	3,9	12,2	14,1	15,6

Примечание: Состав №5 содержит 0,15% ЛСТ от массы цемента

В производственных условиях использование золы-унос в керамзитобетоне снизило его плотность на 40—80 кг/м³ и позволило сократить расход цемента на 15-50 кг в расчете на 1 м³ бетона. При этом повышается коррозионная стойкость и теплофизические показатели бетона [2].

Отработанная формовочная смесь (ОФС) как заполнитель бетона. В литейном производстве изготовление отливок наиболее распространено в разовых формах. Их готовят из формовочных смесей, главной составляющей которых является природный кварцевый песок. В качестве связующего вещества, обеспечивающего прочность формовочной смеси, применяют глину, жидкое стекло, высокомолекулярные смолы, пластификатор СДБ и др. Перед повторным использованием ОФС предварительно обрабатывается, в частности, куски формовочной смеси разминают на валковых дробилках, просеивают, а металлические включения отделяют от смеси магнитными сепараторами. После 3-х -5-ти кратного оборачивания ОФС направляется в отвал. Ежегодно на Одесском заводе «Центролит» образовывалось около 150 тыс.т. ОФС, которые складировались в отвалы и ухудшали экологическую обстановку. Аналогичные предприятия работают во многих регионах Украины.

По зерновому составу ОФС всех литейных цехов (мелкого чугунолитя, среднего чугунолитя, стального литя) относятся к мелкой группе песков с $M_k=1,4$ со средней насыпной плотностью от 1300-1380 кг/м³ и межзерновой пустотностью 48-51%. Исследования, проведенные СЭС, показали, что содержание в ОФС естественных и искусственных радионуклидов (радий-226, торий-232, цезий-137 и др.) не превышает допустимых уровней [3].

В качестве базового был выбран технологический состав керамзитобетона класса В12,5, использованный ранее «Монолитстроем» для бетонирования наружных стен. При постоянном количестве цемента и

керамзитового гравия содержание ОФС в массе природного кварцевого песка изменялось от 0 до 100% (табл.4).

Таблица 4

Исследуемые составы керамзитобетона с ОФС без химической добавки

Компоненты бетона	Содержание ОФС, % от массы природного песка				
	0	25	50	75	100
Цемент М 400	320	320	320	320	320
Вода	270	255	220	210	210
Керамзит	370	370	370	370	370
Песок кварцевый	660	525	395	205	0
ОФС	0	175	395	615	820

Выводы

1. Водосодержание бетонной смеси, определяемое из условия обеспечения подвижности 11-13 см, снижается с увеличением количества ОФС из-за пластифицирующего действием СДБ в ОФС. Анализ показал возможность замены до 75% кварцевого песка на ОФС без изменения распалубочной прочности, и до 50% - без изменения 28-дневной прочности керамзитобетона. Положительным является и факт снижения водопоглощения образцов керамзитобетона с ОФС на 2-6 %.
2. Введение 0,15% добавки ЛСТ позволило на 10% снизить водопотребность смесей, что обеспечило повышение «марочной» прочности на 3-5 МПа как легкого, так и тяжелого бетона. *Технологические рекомендации по введению ОФС в количестве 50-60% от массы природного песка и добавки ЛСТ были реализованы, в частности, при изготовлении фундаментных блоков из тяжелого бетона.*
3. Практический опыт исследования и внедрения бетонов для изготовления конструкций малоэтажных зданий «Монолитстроем» показал возможность эффективного использования местных материалов (в т.ч. отходов известнякового камнепиления, золы-уноса, отработанных песков литейного производства) в сочетании с пластифицирующими добавками с целью получения бетонов требуемых строительно-технологических свойств.

Литература

1. Коваль С.В., Вознесенский В.А. Системология и решение задач оптимизации модифицированных композитов. -К.: Знание, 1992. -17 с.
2. Будівельне матеріалознавство /під ред. П.В.Кривенко. К.:ЕксОб, 2004.-704 с.
3. Отчет НИР №1996. Разработка мероприятий по повышению качества бетона на объектах ССМУ «Монолитстрой». -Одесса: ОИСИ, 1991.-95 с.