

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

*Н.М. Шалухо<sup>1</sup>, М.И. Кузьменков<sup>1</sup>, В.В. Бабицкий<sup>2</sup>*

*УО «Белорусский государственный технологический университет»<sup>1</sup>*

*Белорусский национальный технический университет<sup>2</sup>*

e-mail: shalukho@belstu.by

Актуальность проблемы ресурсосбережения возрастает в связи с нарастающим дефицитом и стоимостью компонентов бетонных смесей, а также ценой теплоносителей. Одним из основных направлений ресурсосбережения на предприятиях по производству бетонной продукции является утилизация некондиционного бетона и железобетона путем их использования вместо дорогостоящего гранитного щебня. Вопросы утилизации отходов бетона и некондиционного железобетона и применения продуктов их переработки (рециклирования) в качестве вторичных строительных материалов с целью экономии природных (первичных) ресурсов серьезное внимание уделяется в странах дальнего и ближнего зарубежья. Так, например, в Германии основная часть бетонного лома после дробления и отсева на щебень и песок используется в качестве крупного и мелкого заполнителей в бетонах и строительных растворах, а часть песчаной фракции, полученной из дробленых бетонных отходов, подвергается помолу. Полученный тонкодисперсный продукт применяется в составе сырьевой смеси при производстве цемента.

Вторым направлением является применение отечественных химических добавок-ускорителей твердения бетона, производство которых налажено на ЧПУП «БелХимос» (г. Лепель, Витебская обл.).

С целью апробации указанных направлений выполнены комплексные исследования по изучению физико-механических характеристик бетонов с использованием рециклированных заполнителей из дробленых отходов бетона и железобетона. Для приготовления бетонных образцов использовался цемент марки ПЦ 500-ДО.В сериях 2–4 использовался щебень, полученный дроблением бетонного лома фракции 5–20 мм, а в сериях 6–8 – тех же фракций, но без отсева частиц размером менее 5 мм. Марка бетонной смеси по удобоукладываемости – П2. Применялся следующий режим тепловлажностной обработки бетона: 2+3+6+2 при температуре изотермической выдержки 80 °С с последующим твердением образцов в нормальных условиях. Полученные результаты (табл. 1) свидетельствуют о возможности полной замены гранитного щебня фракционированным продуктом дробления бетонного лома для бетона класса по прочности на сжатие С20/25 (серии 1–4). Вместе с тем, наличие в продукте частиц размером менее 5 мм повышает водопотребность и, соответственно, водоцементное отношение бетонной смеси и ограничивает применимость такого щебня даже в низкомарочных бетонах (серии 5–8).

Для снижения расхода тепловой энергии при производстве бетона и железобетона используют эффективные ускорители твердения бетона, однако применение их ограничивается стоимостью таких добавок.

Таблица 1 – Влияние содержания крупного заполнителя из отходов дробления бетона на прочность при сжатии

Номер серии	1	2	3	4	5	6	7	8
Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	409	408	400	400	336	322	320	320
Расход щебня из дробленого бетона в % от содержания гранитного щебня	0	20	50	100	0	20	50	100
В/Ц	0,46	0,46	0,48	0,46	0,57	0,55	0,58	0,60
Прочность бетона на сжатие, МПа:								
– после тепловой обработки	15,0	14,7	12,8	10,9	11,9	11,0	8,6	7,0
– после тепловой обработки в возрасте 7 суток	26,3	26,2	24,0	22,1	19,0	17,5	14,8	13,3
– после тепловой обработки в возрасте 28 суток	34,4	34,2	32,5	31,0	25,4	24,3	21,9	19,9

В связи с этим, актуальным является применение добавок-ускорителей на основе отходов химических производств. В качестве такой добавки использовали отход производства полиамидного волокна на ОАО «Химволокно» (г. Гродно), которая представляет собой обезвоженную смесь нитрита и карбоната натрия в соотношении 70:30 и содержит до 1 % механических примесей (далее – ОХП). Для оценки ее эффективности проведены исследования, в которых варьировали расходом цемента в пределах от 250 до 450 кг/м<sup>3</sup> и концентрацией добавки 0,75 и 1,5 % от массы цемента. Сравнивалась прочность на сжатие стандартных кубов с ребром 100 мм с добавкой и без добавки в возрасте 1, 2, 3, 7 и 28 суток твердения в нормальных условиях. Сопоставление эффективности добавки ОХП с другими распространенными ускорителями твердения бетона показано в табл. 2.

Таблица 2 – Сравнительная эффективность ускорителей твердения бетона\*

Вид добавки	Увеличение прочности бетона с добавками-ускорителями твердения, раз, в возрасте, сутки		
	1	3	28
Хлорид кальция	1,5–2,0	1,5–1,9	1,1–1,2
Сульфат натрия	1,3–1,6	1,2–1,6	1,05–1,1
Нитрит-нитрат-хлорид кальция	1,3–1,6	1,2–1,5	1,1–1,2
Нитрит-нитрат кальция	1,2–1,4	1,2–1,4	1,05–1,1
Полиметаллический водный концентрат	1,4–1,8	1,2–1,4	1,05–1,1
ОХП	1,4–2,1	1,1–1,5	0,93–1,13

\* прочность бетона без добавок в соответствующем возрасте принята за 1.

Согласно полученным данным, добавка ОХП весьма эффективна в ранние сроки твердения, что позволяет рекомендовать ее для использования с целью снижения расхода теплоносителя при тепловлажностной обработке бетонных и железобетонных изделий в ямных пропарочных камерах. Кроме того, важным резервом на пути снижения энергопотребления является эффективная санация пропарочных камер, позволяющая снизить потери теплоты в окружающую среду. Указанные технические решения были успешно апробированы на производственных предприятиях по выпуску железобетонной продукции.