

УДК 666.973

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/44/21>

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ РАСТВОРЫ И БЕТОНЫ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗ МЕСТНОГО СЫРЬЯ

©Мамытов А. С., SPIN-код: 5495-8335, канд. техн. наук, Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, г. Ош, Кыргызстан, tamytov-63@mail.ru

THE MODIFIED SOLUTIONS AND CONCRETE OF THE INCREASED DURABILITY FROM LOCAL RAW MATERIALS

©Mamytov A., SPIN code: 5495-8335, Ph.D., Osh Technological University named after M.M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan, tamytov-63@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования влияния модифицированных добавок на реологические и механические свойства бетона и раствора при использовании известняка в качестве наполнителя. Целью работы стало исследование влияния модификаторов на реологию бетонной смеси и раствора и физико–механические характеристики бетона при использовании активного заполнителя. Использовалась химическая добавка глениум–суперпластификатор на основе поликарбоксилэфирных полимеров. В результате было установлено, что добавление техногенного тонкодисперсного кремнеземсодержащего продукта совместно с микрокремнеземом и отходами электрофильтра укрепляет бетон.

Abstract. The results of the study of the effect of modified additives on the rheological and mechanical properties of concrete and mortar when using limestone as a filler are presented. The aim of the work was to study the effect of modifiers on the rheology of the concrete mix and mortar and the physical and mechanical characteristics of concrete when using active aggregate. A chemical additive, the Glynium-Superplasticizer based on polycarboxylic ether polymers, was used. As a result, it was found that the addition of technogenic fine silica product together with micro silica and electrostatic precipitator strengthens the concrete.

Ключевые слова: дисперсные системы, гидратация, гидросиликат, портландит, моногидрокарбоалюминат кальция, структурообразование, пластифицирующие добавки, реологические свойства, капиллярная пористость.

Keywords: disperse systems, hydration, hydrosilicate, portlandite, monohydrocarboxylate calcium, structure formation, plasticizing agents, rheological properties, capillary porosity.

Бетон с улучшенными физико–механическими свойствами может быть получен при комплексном управлении структурой, скоростях твердения и прочности, с использованием механически активированных связующих, сложных химических модификаторов для различных целей и активных заполнителей [1]. Цель работы: исследовать влияние модификаторов на реологию бетонной смеси и раствора и физико–механические характеристики бетона при использовании активного заполнителя.

Материал и методы исследования

В работе использован портландцемент ЦЕМ II/A-Ш 32,5 ГОСТ 31108-2016, полевोшпатовый песок, известковый щебень. Химический состав сырьевых материалов приведен в Таблице 1.

Таблица 1.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ [3]

| Материалы | Содержание оксидов | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------------------|------------------|------------------|-----|-----------------|--------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | N ₂ O ₃ | K ₂ O | TiO ₂ | MnO | SO ₃ | П.н.п. |
| Известняк Ошского месторождения | 13,25 | 2,69 | 1,81 | 44,22 | 1,16 | 0,31 | 0,40 | — | — | 0,46 | 35,69 |
| Клинкер КЦЗ | 21,98 | 5,04 | 4,11 | 65,72 | — | 1,57 | 0,65 | — | — | 0,12 | 0,16 |
| Песок | 59,01 | 14,44 | 3,53 | — | 3,05 | 2,55 | 2,51 | — | — | 6,9 | — |
| ХОСР | 70,93 | 6,92 | 0,73 | — | 12,67 | 0,03 | 0,82 | — | — | 0,67 | 7,23 |

Использовалась химическая добавка глениум–суперпластификатор на основе поликарбоксилэфирных полимеров, плотностью 1,10±0,02 г/см³, с содержанием ионов хлора 0,01%, жидкой консистенции, прозрачного цвета.

Клинкер представлен минералами в (%): C₃S — 56,9%; C₂S — 17%; C₃A — 6%; C₄AF — 13%.

Песок плотностью — 2,61–2,74 г/см³; пористостью 42%; M_к = 2,4.

Известковый щебень характеризуется крупностью щебня 5–10 мм; средней плотностью 2,54 г/см³; насыпной плотностью 1,490 г/см³; пористостью 3,0%; содержанием дробленных зерен 6,0%; потеря в массе после 25 циклов замораживания и оттаивания составляет 0,3; маркой щебня по дробимости — 1200.

После процесса обогащения руды сурьмяного комбината образуются твердые отходы — хвосты флотационного обогащения сурьмяных руд (ХОСР), которые образованы при отработке киновари при t — 1200 °С. Химический состав приведен в Таблице 1. Минералогический состав представлен двуокисью кремния, карбонатом и алюмосиликатами. Установлено высокое содержание в нем кремнеземистого компонента (SiO₂ = 70,93%).

Поскольку материал подвергался термической обработке, то содержащийся кварц в нем претерпел модификационные процессы.

Известно, что при температуре 1050 °С α-кварц переходит в α-кристобалит, который при охлаждении переходит в β-кристобалит и β-кварц [1].

Модификационные превращения в пределах одноименной кристаллической формы проходят очень легко и мгновенно, т. к. эти переходы сопровождаются лишь некоторым смещением атомов в кристаллической решетке, в то время как при переходе в разноименную модификацию в кристаллической решетке происходит глубокое структурное изменение с разрывом связей.

В ХОСР кварц (SiO₂) перешел частично в кристобалит с некоторым изменением в кристаллической решетке.

С целью активации материал подвергался дополнительному измельчению.

Он измельчается достаточно легко; в течение 2 часов происходит помол до удельной поверхности S = 4900 см²/г.

Истинная плотность составляет $2,6 \text{ г/см}^3$, насыпная плотность 1200 кг/м^3 . Общая пористость $47,7\%$.

С целью снижения расхода клинкера в состав бетона вводили ХОСР. В бетон — до 150 кг/м^3 ; в раствор — 270 кг/м^3 .

Для интенсификации пуццолановой реакции при твердении бетона была использована комбинированная добавка ХОСР с микрокремнеземом [2].

Микрокремнезем характеризуется: истинной плотностью — $2,25 \text{ г/см}^3$; насыпной плотностью — 220 кг/м^3 ; удельной поверхностью — $2500 \text{ м}^2/\text{кг}$; размером частиц $0,1\text{--}3 \text{ мкм}$; п.п.п. — $5,0\%$, рН — 6.

Микрокремнезем характеризуется высокой дисперсностью, частицами во много раз ниже частиц цемента ($30\text{--}50 \text{ мкм}$), рН — 6, т. е. при его добавке в цемент совместно ХОСР с кремнеземом ускоряется процесс гидратации цементного камня, взаимодействие портландита образовавшегося при гидролизе C_3S с кремнеземом, снижается капиллярная пористость и улучшается плотность бетона.

Но т. к. микрокремнезем в Кыргызстане не производится и это достаточно дорогое средство, поэтому часть его была заменена на цементную пыль с электрофильтров. В бетоне до 20 г, в растворе — до 30 г. При этом незначительно повысилась водопотребность как в растворе, так и в бетоне. Практически в пределах ошибки ($5\text{--}10 \text{ мл}$). Но прочность бетона и раствора осталась приближенной к прочности с микрокремнеземом.

Гранулометрический состав отходов цементного производства — пыль электрофильтров приведен в Таблице 2.

Таблица 2.

СОСТАВ ОТХОДОВ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА
 ПО ГРАНУЛОМЕТРИИ — ПЫЛЬ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

| Анализ остатка | Остатки на ситах с размером отверстий, мм | | | | | | |
|----------------|---|-------|-----|------|------|------|-------|
| | 0,63 | 0,315 | 0,2 | 0,16 | 0,08 | 0,05 | <0,05 |
| Частные, г | 0,4 | 0,2 | 2 | 0,7 | 24,9 | 22 | 49,5 |
| Полные, г | 0,4 | 0,6 | 2,6 | 3,3 | 28,2 | 50,2 | 99,7 |

Введение суперпластификаторов в процесс приготовления бетонных смесей также является одним из эффективных способов контроля структуры цементобетона, поскольку повышает подвижность, обрабатываемость бетонной смеси. Установлено, что с использованием глениума повышается ее гомогенность, уменьшается общая и капиллярная пористость и повышается прочность [2].

Использование техногенного кремнеземсодержащего компонента (НОСР) вместе с микрокремнеземом и электростатической пылью в смеси способствует химическому превращению гидроксида кальция в гидросиликаты с увеличением общей объемной прочности цементного камня [3].

Расход $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на реакцию с испарением кремнезема и отходами электростатического осадителя приведет к снижению рН как в межпористом, межкристаллическом пространстве, так и в фазообразующих порах (микрокапиллярах), тем самым интенсифицируя процессы формирования структуры. Результаты исследований представлены в ряде работ зарубежных авторов [4–9].

Рассматриваются цементные строительные материалы, армированные растительными волокнами [4], влияние метакаолина как дополнительного цементирующего материала на прочность и долговечность бетонов [5], чередование традиционных цементных растворов с использованием геополимерных растворов на основе зольной пыли [6], модифицированных

шлаком [7], механические и долговечные характеристики бетона с гранитной пылью в качестве частичной замены цемента при неблагоприятных условиях воздействия и т. д. [8-9].

Результаты исследования

В Таблицах 3–4 приведены результаты исследования влияния наполнителей вместе с пластифицирующей добавкой на реологические свойства бетонных и растворных смесей и прочность бетона и строительного раствора. В Таблице 3 выявлено воздействие количества пластифицирующей добавки на свойства раствора: пластифицирующий эффект глениума сказывается в значительном повышении подвижности смеси. Осадка конуса растворной смеси повышается с 220 мм до 280 мм. Глениум оказывает и некоторый упрочняющий эффект.

Прочность образцов нормального твердения с глениумом превышает прочность бездобавочного раствора до (64,0–65,0 МПа).

Таблица 3.

СОСТАВ И СВОЙСТВА РАСТВОРА

| Добавка ХОСП | Ц/В | Содержание компонентов, г | | | | | | Глениум, % от массы вяжущего | ОК, мм | Прочность при сжатии, МПа, через сутки | | |
|-----------------|------|---------------------------|------|----|------|-------|------|---------------------------------------|-----------|--|------|------|
| | | Ц | ХОСП | МК | Пыль | песок | вода | | | 3 | 7 | 28 |
| МОЛОТЫЙ | 1,0 | 675 | 0 | 0 | — | 1350 | — | 220 | 28,7 | 37,1 | 59,0 | |
| | 0,6 | 405 | 270 | 0 | — | -//- | 205 | 0,2 | 256 | 30,2 | 42,1 | 64,0 |
| | -//- | 220 | 50 | — | -//- | | | 0,4 | 260 | 31,6 | 43,5 | 65,0 |
| | -//- | 220 | 20 | 30 | -//- | | | 0,6 | 280 | 34,0 | 44,2 | 67,0 |
| | -//- | 220 | 20 | 30 | -//- | 210 | | 0,6 | 270 | 31,6 | 43,7 | 65,9 |

Таблица 4.

СОСТАВ И СВОЙСТВА БЕТОНА

| Общее содержание вяжущего, кг на 1 м ³ | Расход компонентов, кг на 1 м ³ бетона | | | | Глениум, % от массы вяжущего | Распływ конуса, мм | Прочность при сжатии, МПа, через сутки | | |
|--|--|------|----|------|------------------------------------|--------------------------|---|------|------|
| | Ц | ХОСП | МК | Пыль | | | 3 | 7 | 28 |
| 550 | 550 | — | — | — | 0,5 | 590 | 33,7 | 42,0 | 54,0 |
| | 400 | 150 | — | — | 0,5 | 580 | 32,1 | 41,0 | 53,2 |
| 550 | 400 | 120 | 30 | — | 0,5 | 560 | 32,6 | 41,6 | 58,3 |
| | 400 | 120 | 10 | 20 | 0,5 | 540 | 31,8 | 41,1 | 57,8 |

Использование химически активного карбонатного заполнителя (известняковый щебень) способствует формированию прочной и плотной зоны контакта цементного камня с заполнителем, минеральный состав которого представлен $C_3A-CaCO_3 \cdot 11H_2O$ и C_3AH_6 гидрокарбонатом кальция. Данные показывают, что добавление техногенного тонкодисперсного кремнеземсодержащего продукта совместно с микрокремнеземом и отходами электрофильтра укрепляет бетон, поскольку его составляющие минералы взаимодействуют с портландитом в процессе гидратации портландцемента. Этот факт подтверждает значение прочности образца нормального упрочнения (64,0–67,0 МПа), которое несколько выше прочности образца без добавок. Средний размер частиц микрокремнезема и частиц электрофильтра до 3 мкм, его взаимодействие с $Ca(OH)_2$ идет на границе микро- и макропористости образца, способствует снижению дефектности

структуры, образованию мелкокристаллической структуры и значительному повышению эксплуатационных и прочностных характеристик бетона.

Выводы

Таким образом, используя химически активные материалы (известняк), пластифицирующую добавку (до 1%) глинум вместе с активным кремнеземным продуктом с микрокремнеземом и отходами электрофильтров в качестве заполнителей, можно получать модифицированные бетоны повышенной плотности и пониженной капиллярной пористости, которые характеризуется повышенной прочностью зоны контакта цементного заполнителя с камнем. Направленное структурообразование бетонов и растворов с использованием модифицирующих добавок способствует повышению его прочностных характеристик, снижению расхода цемента, утилизации промышленного отхода и снижению себестоимости продукции.

Список литературы:

1. Бутт Ю. М., Сычев М. М., Тимашев В. В. Химическая технология вяжущих материалов. М.: Высшая школа, 1980. 472 с.
2. Баженов Ю. М. Технология бетона. М.: Высшая школа, 1987. 415 с.
3. Мамытов А. С. Разработка технологии композиционных малоклинкерных вяжущих веществ и изделий на их основе с использованием местного сырья: дисс. ... канд. техн. наук. Бишкек, 2015. 168 с.
4. Pacheco-Torgal F., Jalali S. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review // Construction and Building Materials. 2011. V. 25. №2. P. 575-581. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.024>
5. Ramezani pour A. A., Jovein H. B. Influence of metakaolin as supplementary cementing material on strength and durability of concretes // Construction and Building materials. 2012. V. 30. P. 470-479. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.050>
6. Shang J., Dai J. G., Zhao T. J., Guo S. Y., Zhang P., Mu B. Alternation of traditional cement mortars using fly ash-based geopolymer mortars modified by slag // Journal of cleaner production. 2018. V. 203. P. 746-756. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.255>
7. Provis J. L. Alkali-activated materials // Cement and Concrete Research. 2018. V. 114. P. 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.009>
8. Ghorbani S., Taji I., De Brito J., Negahban M., Ghorbani S., Tavakkolizadeh M., Davoodi A. Mechanical and durability behaviour of concrete with granite waste dust as partial cement replacement under adverse exposure conditions // Construction and Building Materials. 2019. V. 194. P. 143-152. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.023>
9. Gartner E., Sui T. Alternative cement clinkers // Cement and concrete Research. 2018. V. 114. P. 27-39. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.002>

References:

1. Butt, Yu. M., Sychev, M. M., & Timashev, V. V. (1980). Khimicheskaya tekhnologiya vyazhushchikh materialov. Moscow, Vysshaya shkola, 472.
2. Bazhenov, Yu. M. (1987). Tekhnologiya betona. Moscow, Vysshaya shkola, 415.
3. Mamytov, A. S. (2015). Razrabotka tekhnologii kompozitsionnykh maloklinkernykh vyazhushchikh veshchestv i izdelii na ikh osnove s ispol'zovaniem mestnogo syr'ya: Ph.D. diss. Bishkek, 168.

4. Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2011). Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review. *Construction and Building Materials*, 25(2), 575-581. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.024>
5. Ramezani-pour, A. A., & Jovein, H. B. (2012). Influence of metakaolin as supplementary cementing material on strength and durability of concretes. *Construction and Building materials*, 30, 470-479. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.050>
6. Shang, J., Dai, J. G., Zhao, T. J., Guo, S. Y., Zhang, P., & Mu, B. (2018). Alternation of traditional cement mortars using fly ash-based geopolymer mortars modified by slag. *Journal of cleaner production*, 203, 746-756. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.255>
7. Provis, J. L. (2018). Alkali-activated materials. *Cement and Concrete Research*, 114, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.009>
8. Ghorbani, S., Taji, I., De Brito, J., Negahban, M., Ghorbani, S., Tavakkolizadeh, M., & Davoodi, A. (2019). Mechanical and durability behaviour of concrete with granite waste dust as partial cement replacement under adverse exposure conditions. *Construction and Building Materials*, 194, 143-152. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.023>
9. Gartner, E., & Sui, T. (2018). Alternative cement clinkers. *Cement and concrete Research*, 114, 27-39. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.002>

Работа поступила
в редакцию 08.06.2019 г.

Принята к публикации
17.06.2019 г.

Ссылка для цитирования:

Мамытов А. С. Модифицированные растворы и бетоны повышенной прочности из местного сырья // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №7. С. 162-167. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/44/21>

Cite as (APA):

Mamytov, A. (2019). The Modified Solutions and Concrete of the Increased Durability From Local Raw Materials. *Bulletin of Science and Practice*, 5(7), 162-167. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/44/21> (in Russian).