

УДК 691.545

Ермилова Е.Ю. – аспирант

E-mail: lizabeta_91@list.ru

Камалова З.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: zlesik@mail.ru

Рахимов Р.З. – доктор технических наук, профессор

E-mail: rahimov@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Исследование влияния композиционных цемента с комплексной минеральной добавкой на физико-механические и другие эксплуатационные свойства строительных растворов

Аннотация

Разработаны составы строительных растворов на основе композиционного портландцемента с комплексной минеральной добавкой. Исследованы физико-механические, физические и гидрофизические свойства полученных строительных растворов на композиционных портландцементах с комплексной минеральной добавкой. Результаты экспериментов позволили установить возможность замены до 50 % портландцемента комплексной минеральной добавкой в составе строительных растворов без потери прочности. А введение добавки в количестве 10-30 % от массы цемента позволяет улучшить физико-механические показатели раствора на 30-10 % при сохранении гидрофизических свойств.

Ключевые слова: композиционный портландцемент, комплексные минеральные добавки, строительный раствор.

Введение

С развитием многоэтажного строительства, освоением подземного пространства, созданием особо ответственных и специальных сооружений требуются растворы со специальными свойствами, такими как повышенная прочность, водостойкость, морозостойкость, атмосферостойкость.

К примеру, для каменной кладки наружных стен и наружной штукатурки требуются строительные растворы, имеющие марку по морозостойкости F10, F15, F25, F10, F35, F50. А для кладки во влажных грунтах и ниже уровня грунтовых вод требуется марка по морозостойкости F300. Виброкирпичные панели изготавливают на растворах марки M75, M100, M150, а для кладки перемычек, карнизов, столбов используются растворы M100. Применение, приготовление, методы контроля и оценки качества строительных растворов регламентированы ГОСТом 28013-98 и СП 82-101-98 «Приготовление и применение растворов строительных».

Свойства строительных растворов в первую очередь зависят от вида используемого вяжущего. На сегодняшний день все большую популярность на мировом рынке получают композиционные портландцементы с гибридными минеральными и органоминеральными добавками. Они призваны решать не только проблему экологии, т.е. сокращение выбросов CO₂, но также ресурсо- и энергосбережения, а также, позволяют получать более дешевый продукт, за счет использования минерально-сырьевой базы регионов, в которых отсутствует производство портландцемента. Кроме того, использование гибридных добавок позволяет получать изделия, строительные материалы со специальным набором свойств, что также немаловажно в различных областях строительства.

Исследованиями зарубежных и отечественных ученых [1-10] выявлена эффективность одновременного введения 2-х и более разновидностей активных минеральных добавок.

Опубликованные нами ранее результаты исследований [11-12] показали, что введение комплексной минеральной добавки (КМД) на основе метакаолина, золы-уноса и трепела в портландцемент, позволяет заменить до 30 % портландцемента без существенной потери прочности цементного камня.

Целью наших исследований явилось изучение влияния комплексной минеральной добавки на основе метакеолина, золы-уноса и трепела, в составе композиционного цемента на свойства строительных растворов.

Экспериментальная часть. Исследования проводились на портландцементе (ПЦ) ОАО «Вольскцемент» марки М500 Д0 (табл. 1), химический состав которого представлен в табл. 2.

Таблица 1

Характеристики Вольского портландцемента ПЦ 500-Д0-Н

Прочность на сжатие МПа		Свойства	
3 суток	33,5	Уд. поверхность (по Блейну)	3450 см ² /г
28 суток	51,0	Насыпная плотность	1000 г/л
После пропаривания	42,0	Нормальная густота	26 %
		Начало схватывания	2:50 ч:мин
		Конец схватывания	4:10 ч:мин
Минералогический состав			
Алит С ₃ S	Белит С ₂ S	Алюминаты С ₃ A	Алюмоферриты С ₄ AF
67,0	11,0	4,0	15,0

В качестве добавки, подобранной нами ранее, использовался оптимальный состав комплексной минеральной добавки на основе метакеолина, золы-уноса и трепела, при соотношении компонентов, мас.% 20:70:10 [11-12]. Химический состав компонентов комплексной минеральной добавки представлен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав экспериментальных материалов

Химический состав (%)	ПЦ 500-Д0-Н	Магнитогорский метакеолит ВМК-47	Зола – уноса Троицкой ГРЭС	Трепел месторождения «Мурачевская гора», Калужская область
CaO	63,0	-	1,4	1,43
SiO ₂	20,5	54,1	56,5	86
Al ₂ O ₃	4,5	44,8	33,5	7,14
Fe ₂ O ₃	4,5	0,1	4,52	3,3
MgO	-	-	1,12	0,834
SO ₃	3,0	-	0,2	0,0102
Na ₂ O	-	-	-	0,8892
K ₂ O	-	-	-	-
TiO	-	-	-	0,387
ZrO	-	-	-	0,0096
MnO	-	-	0,135	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-

Для приготовления растворов и бетонов использовался кварцевый песок, с модулем крупности $M_{кр}=1,6$, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736-93 и ГОСТ 8735-88. Свойства песка приведены в табл. 3. Гранулометрический состав песка представлен в табл. 4.

Таблица 3

Физико-механические показатели песка

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Значение
1	Модуль крупности		1,61
2	Содержание пылевидных и глинистых частиц	% по массе	0,35
3	Содержание глины в комках	% по массе	0
4	Насыпная плотность	кг/м ³	1500-1600

Таблица 4

Гранулометрический состав песка

Частные остатки на ситах, %						Мкр
2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	<0,16	
0,06	135	9,61	50,04	43,02	1,22	1,61

Подвижность, влажность и средняя плотность растворов смесей определялась по ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытаний».

Предел прочности при сжатии и изгибе цементно-песчаного раствора определялся по ГОСТ 310.4-81 на образцах балочках с размерами 0,04x0,04x0,16 м, часть из которых после 24 часов твердения в нормальных влажностных условиях погружалась в воду, а часть подвергалась тепловлажностной обработке по стандартному режиму (2+4+6+2). Образцы испытывались в возрасте 7 и 28 суток, а также после ТВО с выдержкой 4 часа.

Средняя плотность цементно-песчаного раствора определялась на балочках размерами 0,04x0,04x0,16 м, высушенных до постоянной массы при температуре 105 °С.

Показатели пористости строительного раствора определялись согласно методике ГОСТ 12730.4-78 «Бетоны. Методы определения показателей пористости».

Морозостойкость раствора с оптимальным содержанием добавок определялась согласно ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости». Исследования проводились на образцах кубах размером 0,07x0,07x0,07 м, выдержанных в камере нормального хранения 28 суток, по ускоренному второму методу.

Комплексная минеральная добавка вводилась в количестве от 10 % до 50 % от массы вяжущего. Составы растворов представлены в табл. 5.

Таблица 5

Составы строительных растворов с комплексной минеральной добавкой

№ п.п.	Ц:П	КМД	В/Ц	Подвижность смеси
0	1:3	-	0,52	П2
1	1:3	10 %	0,52	П2
2	1:3	30 %	0,58	П2
3	1:3	40 %	0,60	П2
4	1:3	50 %	0,62	П2

Результаты испытаний представлены в табл. 6 и на рис. 1-2.

Таблица 6

Физико-механические свойства строительного раствора

№ состава	Плотность, г/см ²	Прочность при изгибе R _{изг} , МПа			Прочности при сжатии R _{сж} , МПа			Влажность раствора, %	Водопоглощение по массе, %	Марка по морозостойкости
		После ТВО	7 сут.	28 сут.	После ТВО	7 сут.	28 сут.			
0	1992	4,3	4,8	6,4	9,4	8,9	12,9	5,35	12,7	F300
1	2098	5,5	6,2	8,3	16,5	14,7	20,4	5,23	10	F300
2	2096	5,0	5,3	7,5	12,3	12,4	17,3	5,52	11,2	F300
3	1968	4,8	5,1	7,1	11,7	11,3	15,9	6,24	12,8	F300
4	1978	3,7	3,8	5,2	9,9	9,5	13,4	7,3	13,3	F300

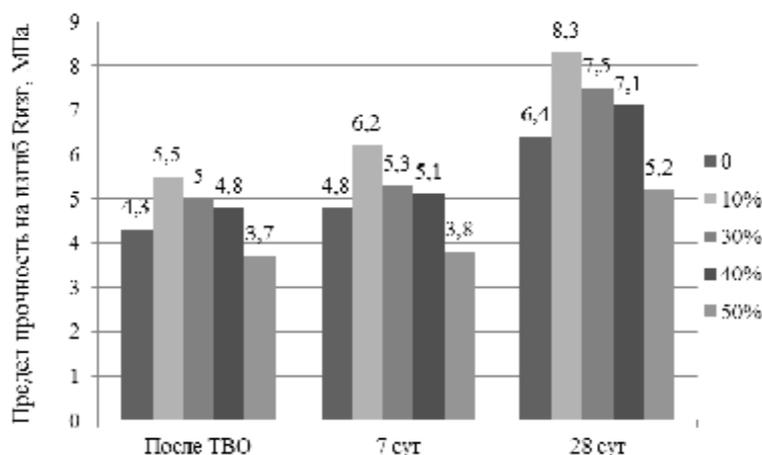


Рис. 1. График зависимости предела прочности на изгиб строительного раствора от содержания комплексной минеральной добавки в % от массы вяжущего

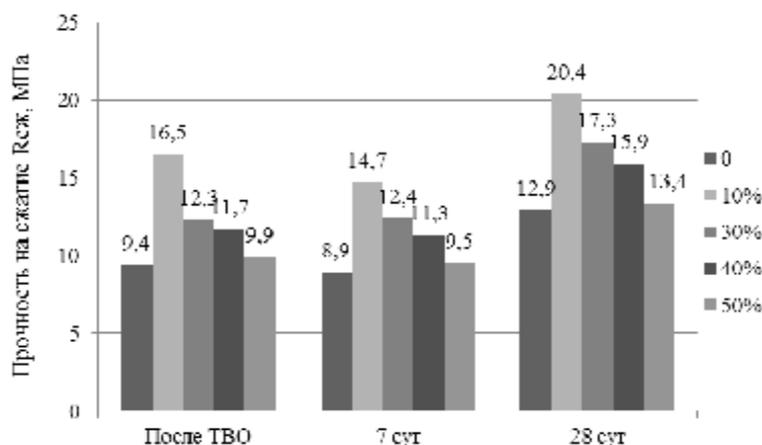


Рис. 2. График зависимости предела прочности на сжатие строительного раствора от содержания комплексной минеральной добавки в % от массы вяжущего

На рис. 1 представлены зависимости прочности на изгиб строительного раствора от содержания добавки в % от массы портландцемента в различных сроках твердения, а также после ТВО. Как показывают результаты, при содержании добавки от 10 % до 30 % от массы портландцемента, прочность на изгиб по сравнению с бездобавочным образцом увеличивается на 30 и на 10-17 % соответственно, а при содержании добавки 40 % прочность увеличивается незначительно всего на 6-12 %. Дальнейшее увеличение содержания добавки до 50 % от массы портландцемента приводит к снижению прочности на изгиб на 15-20 % по сравнению с прочностью контрольного образца.

Как видно из графика, представленного на рис. 2, прочность на сжатие строительного раствора зависит от содержания комплексной минеральной добавки по такому же принципу, а именно: при содержании добавки 10 % и 30 % прочность возрастает на 75-60 % и 30-40 % соответственно. При увеличении содержания добавки до 40 % и 50 % прочность увеличивается на 25 % и 5 % соответственно.

Согласно данным из табл. 5, зависимость плотности строительного раствора коррелирует с зависимостями по прочности на сжатие и изгиб. Аналогичные выводы можно сделать и для результатов по водопоглощению и влажности строительного раствора. Иными словами, уменьшение пористости строительного раствора приводит к более плотной упаковке частиц, а также заполнению свободного пространства между мелким заполнителем и частицами цемента мелкодисперсными добавками, которые играют роль не только пуццолановых добавок, но и создают эффект микрозаполнителей. Вместе с тем, это приводит к повышению прочности на сжатие и изгиб. Кроме того, уменьшение

количества открытых пор снижает водопоглощение раствора, и как следствие, приводит к повышению морозостойкости. Однако, при содержании добавки в количестве 40-50 % морозостойкость падает, что также можно объяснить повышенным В/Ц отношением, и как следствием этого, повышенной влажностью строительного раствора.

Использование комплексной минеральной добавки, позволяет сократить расход вяжущего на 40-50 % и получать растворы такой же марки, что и без использования добавки. К примеру, для получения растворов для каменной кладки и монтажа крупнопанельных конструкции марки М 200 расход вяжущего с маркой М 500 снижается с 355 кг до 177 кг на 1 м³. При содержании добавки 10-30 % можно не только сэкономить количество вяжущего, но получить растворы с повышенными физико-механическими показателями.

Таким образом, можно сделать вывод о возможности использования комплексной минеральной добавки на основе метакеолина, золы-уноса и трепела, не только для замены части портландцемента, но и для получения растворов с повышенными физико-механическими показателями.

Выводы:

1. Выявлено положительное влияние комплексной минеральной добавки на основе метакеолина, золы-уноса и трепела на физико-механические показатели строительного раствора.

2. Установлено, что при содержании добавки от 10 % до 30 % от массы портландцемента, прочность на изгиб строительного раствора увеличивается на 30 и на 10-17 % соответственно по сравнению с бездобавочным образцом.

3. Прочность на сжатие строительного раствора при содержании добавки 10 % и 30 % возрастает на 75-60 % и 30-40 % соответственно.

4. Введение комплексной минеральной добавки на основе метакеолина, золы-уноса и трепела до 30 % приводит к повышению плотности, снижению пористости и повышению морозостойкости до F 300 строительных растворов, изготовленных на основе данного композиционного цемента.

5. Полученные строительные растворы с комплексной минеральной добавкой можно рекомендовать в качестве кладочных растворов для каменной кладки наружных стен и для наружной штукатурки, а также для кладки во влажных грунтах и ниже уровня грунтовых вод. Также могут использоваться для кладки перемычек, карнизов, столбов, для изготовления виброкирпичных панелей.

6. Использование комплексной минеральной добавки получать растворы такой же марки, что и без использования добавки, при сокращении расхода вяжущего на 40-50 %.

Список библиографических ссылок

1. Radlinski M., Olek J. Investigation into the synergistic effects in ternary cementitious systems containing portland cement, fly ash and silica fume // *Cement & Concrete Composites*, 2012, № 34. – P. 451-459.
2. Wongkeo W., Thongsanitgarn P., Chaipanich A. Compressive strength and drying shrinkage of fly ash-bottom ash-silica fume multi-blended cement mortars // *Materials and Design*, 2012, № 36. – P. 655-662.
3. Vance K., Aguayo M., Oey T., Sant G., Neithalath N. Hydration and strength development in ternary portland cement blends containing limestone and fly ash or metakaolin // *Cement & Concrete Composites*, 2013, № 39. – P. 93-103.
4. Tironi A., Scian A.N., Irassar E.F. Hydration of ternary cements elaborated with limestone filler and calcined kaolinitic clay // *The 14th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC 2015) during 13-16 October, 2015. – Beijing, China. – 703 p.*
5. Schulze S.E., Pierkes R., Rickert J. Optimization of cements with calcined clays as supplementary cementitious materials // *The 14th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC 2015) during 13-16 October, 2015. – Beijing, China. – 693 p.*

6. Chindaprasirt P., Rukzon S. Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar // *Construction and Building Materials*, 2008, № 22. – P. 1601-1606.
7. Antoni M., Rossen J., Martirena F., Scrivener K. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone // *Cement and Concrete Research*, 2012, Vol. 42. – P. 1579-1589.
8. De Weerd K., Kjellsen K.O., Sellevold E., Justnes H. Synergy between fly ash and limestone powder in ternary cements // *Cement & Concrete Composites*, 2011, № 33. – P. 30-38.
9. Кирсанова А.А., Крамар Л.Я. Органоминеральные модификаторы на основе метакеолина для цементных бетонов // *Строительные материалы*, 2013, №10. – С. 54-56.
10. Камалова З.А., Рахимов Р.З. Химия, техника и технология вяжущих веществ: учеб. пособ. – Казань: КГАСУ, 2015. – 320 с.
11. Ermilova E.U., Kamalova Z.A., Rakhimov R.Z. Composite Portland cement with complex mineral additive and hyperplasticizer // *The 14th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC 2015) during 13-16 October, 2015. – Beijing, China. – 253 p.*
12. Ermilova E.U., Kamalova Z.A., Rakhimov R.Z. Composite Portland cements with hybrid mineral additives and hyperplasticizer // *Ibausil 2015, 16-19 September, 2015, Weimar, Deutschland, Band 2. – P. 589-595.*

Ermilova E.U. – post-graduate student

E-mail: lizabeta_91@list.ru

Kamalova Z.A. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: zlesik@mail.ru

Rakhimov R.Z. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: rakhimov@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Blended cements with complex mineral additive for mortars with improved physical and mechanical properties for a modern building

Resume

Modern building industry makes to building materials special properties of strength, density, water resistance, weather resistance, corrosion resistance. Mortars also are not exception. Blended Portland cements with complex mineral and organic additives solve not only environmental issue, resource and energy saving, but allow to get a cheaper product, through the use of regions mineral resources. Furthermore, using of hybrid complex mineral additives allows to obtain products, construction materials with a special properties.

According to our earlier studies the blended cement with complex mineral additives based on metakaolin, fly ash and Tripoli, allows to save up to 30 % of the Portland cement (PC) without decreasing compromising strength. The paper shows the investigation of physical and mechanical properties of the mortars based on the composite Portland cement with the complex mineral additive. The experimental results have allowed the possibility of replacement of Portland cement up to 50 % in the composition by the complex mineral additive for mortars without strength loss. The content of additives in an amount of 10-30% can improve the physical and mechanical properties at 30 % and 10 %, respectively. The physical chemical properties, such as compressive and tensile strength, freeze-thaw resistance, water improving of mortars based on the blended cements with complex mineral additives were investigated.

Keywords: blended Portland cement, complex mineral additives, mortar.

Reference list

1. Radlinski M., Olek J. Investigation into the synergistic effects in ternary cementitious systems containing portland cement, fly ash and silica fume // *Cement & Concrete Composites*, 2012, № 34. – P. 451-459

2. Wongkeo W., Thongsanitgarn P., Chaipanich A. Compressive strength and drying shrinkage of fly ash-bottom ash-silica fume multi-blended cement mortars // *Materials and Design*, 2012, № 36. – P. 655-662.
3. Vance K., Aguayo M., Oey T., Sant G., Neithalath N. Hydration and strength development in ternary portland cement blends containing limestone and fly ash or metakaolin // *Cement & Concrete Composites*, 2013, № 39. – P. 93-103.
4. Tironi A., Scian A.N., Irassar E.F. Hydration of ternary cements elaborated with limestone filler and calcined kaolinitic clay // *The 14th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC 2015) during 13-16 October, 2015. – Beijing, China. – 703 p.*
5. Schulze S.E., Pierkes R., Rickert J. Optimization of cements with calcined clays as supplementary cementitious materials // *The 14th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC 2015) during 13-16 October, 2015. – Beijing, China. – 693 p.*
6. Chindapasirt P., Rukzon S. Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar // *Construction and Building Materials*, 2008, № 22. – P. 1601-1606.
7. Antoni M., Rossen J., Martirena F., Scrivener K. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone // *Cement and Concrete Research*, 2012, Vol. 42. – P. 1579-1589.
8. De Weerd K., Kjellsen K.O., Sellevold E., Justnes H. Synergy between fly ash and limestone powder in ternary cements // *Cement & Concrete Composites*, 2011, № 33. – P. 30-38.
9. Kirsanov A.A., Kramar L.Y. Organic-mineral modifiers based on metakaolin for cement concrete // *Stroitelnye materialy*, 2013, № 10. – P. 54-56.
10. Kamalova Z.A., Rakhimov R.Z. Chemicals, equipment and technology of binders: tutorial. – Kazan: KGASU, 2015. – 320 p.
11. Ermilova E.U., Kamalova Z.A., Rakhimov R.Z. Composite Portland cement with complex mineral additive and hyperplasticizer // *The 14th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC 2015) during 13-16 October, 2015. – Beijing, China. – 253 p.*
12. Ermilova E.U., Kamalova Z.A., Rakhimov R.Z. Composite Portland cements with hibrid mineral additives and hyperplasticizer // *Ibausil 2015, 16-19 September, 2015, Weimar, Deutschland, Band 2. – P. 589-595.*