

УДК 691.311

## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУХИХ ГИПСОВЫХ СМЕСЕЙ С ЗОЛОЙ-УНОСОМ ТЭС И МОДИФИЦИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ

*М.Т. Касымова, А.Т. Омурканова*

Приводятся сведения о результатах опытных работ по увеличению физико-механических свойств гипсовой массы путем введения золы-уноса ТЭС и суперпластификаторов.

*Ключевые слова:* гипс; зола-унос; суперпластификатор; прочность.

---

## PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF DRY GYPSUM MIXTURES WITH FURNACE DUST OF TPP AND MODIFYING ADDITIVES

*M.T. Kasymova, A.T. Omurkanova*

It is provided the information of the results of experimental work to increase the physical and mechanical properties of the gypsum mass by introducing furnace dust of TPP and superplasticizers.

*Key words:* gypsum; furnace dust; superplasticizer; strength.

Сухие гипсовые смеси относятся к прогрессивным строительным материалам благодаря простоте, экономичности и малой энергоемкости производства.

Для получения сухих гипсовых смесей используют добавки, регулирующие пластические свойства, повышающие водоудерживающую способность и замедляющие сроки схватывания, что обеспечивает увеличение их жизнеспособности.

В составе сухих гипсовых смесей, как правило, присутствуют порошкообразные наполнители, которые позволяют уменьшить расход гипсового вяжущего.

В задачу наших исследований входило получить сухие строительные смеси из местного сырья. В качестве вяжущего был использован строительный гипс марки Г-4 Джалал-Абадского гипсового завода. В качестве замедлителя твердения добавлялась лимонная кислота. В качестве наполнителя использовалась зола-унос ТЭС. Суперпластификаторы Melment L10/33, Rheobuild 1000K, Rheobuild 181K, Glenium 111 немецкой химической компании BASF использовались как химические добавки, улучшающие физико-механические свойства сухих строительных смесей (СГС). Производителями данных добавок рекомендуется использование их в смесях на основе цементного вяжущего, но доказано, что их применение в гипсовых смесях также является эффективным [1–3].

В работе [4] произведен анализ существующих способов повышения водостойкости вибропрессованных гипсовых бетонов и разработаны их оптимальные составы. Авторы установили, что введение в состав гипсовой композиции портландцемента и гидравлической добавки, в данном случае золы-уноса, вызывает повышение коэффициента водостойкости до 0,58...0,75, причем наиболее положительное влияние оказывает зола-унос ТЭС, при их количестве от 5 до 10 % от массы гипса. Оптимальный состав вибропрессованного бетона на основе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего ( $K_p = 0,71...0,75$ ) достигается в композиции следующего состава: портландцемент – 5 %, гипс – 9 %, зола-уноса – 5 %; соотношение массы заполнителя (песка) к массе вяжущего (З : Вяж) постоянное – 1 : 2. Таким образом, авторы пришли к выводу, что снижение водосодержания гипсобетонной смеси с добавлением золы-уноса ТЭС при уплотнении вибропрессованием повышает прочность и водостойкость гипсовых бетонов.

В работе [5] авторами были разработаны составы водостойких бесклнкерных композиций гипсовых вяжущих. Высокие показатели физико-механических свойств обеспечивались введением комплексной гидравлической добавки, включающей в себя подобранные в оптимальном количестве компоненты: молотый доменный

Таблица 1 – Химический состав золы-уноса БТЭЦ

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Ппп	R <sub>2</sub> O	Σ
51,57	21,87	3,70	3,09	1,24	1,47	16,54	0,52	100

Таблица 2 – Физико-механические свойства сухих гипсовых смесей с золой-уносом ТЭС и модифицирующими добавками

№ п/п	Добавки	R <sub>изг</sub> , МПа	R <sub>сж</sub> , МПа
<b>Без наполнителя</b>			
1	Эталон	2,21	13,87
2	0,5% Melment L10/33+0,04% лимонная кислота	10,54	22,03
3	0,25% Melment L10/33+0,04% лимонная кислота	9,32	21,62
4	0,8% Rheobuild 181k+0,04% лимонная кислота	7,47	26,11
5	0,4% Rheobuild 181k+0,04% лимонная кислота	8,85	27,34
6	0,8% Rheobuild 1000k+0,04% лимонная кислота	6,36	13,87
7	0,4% Rheobuild 1000k+0,04% лимонная кислота	8,93	25,3
8	0,8% Glenium 111+0,04% лимонная кислота	6,2	19,58
9	0,4% Glenium 111+0,04% лимонная кислота	7,07	22,44
<b>10 % золы-уноса</b>			
10	10% золы+0,04% лимонная кислота	7,94	22,03
11	10% золы+0,5% Melment L10/33+0,04% лимонная кислота	6,67	19,99
12	10% золы+0,25% Melment L10/33+0,04% лимонная кислота	7,41	17,95
13	10% золы+0,8% Rheobuild 181k+0,04% лимонная кислота	5,5	22,44
14	10% золы+0,4% Rheobuild 181k+0,04% лимонная кислота	5,16	13,46
15	10% золы+0,8% Rheobuild 1000k+0,04% лимонная кислота	4,7	18,36
16	10% золы+0,4% Rheobuild 1000k+0,04% лимонная кислота	5,15	19,58
17	10% золы+0,8% Glenium 111+0,04% лимонная кислота	7	18,77
18	10% золы+0,4% Glenium 111+0,04% лимонная кислота	6,78	19,99
<b>20 % золы-уноса</b>			
19	20% золы+0,04% лимонная кислота	7,77	17,14
20	20% золы+0,5% MelmentL10/33+0,04% лимонная кислота	5,6	20,4
21	20% золы+0,25% MelmentL10/33+0,04% лимонная кислота	7,02	17,14
22	20% золы+0,8% Rheobuild 181k+0,04% лимонная кислота	5	15,91
23	20% золы+0,4% Rheobuild 181k+0,04% лимонная кислота	5,43	16,32
24	20% золы+0,8% Rheobuild 1000k+0,04% лимонная кислота	5	19,18
25	20% золы+0,4% Rheobuild 1000k+0,04% лимонная кислота	4,41	10,61
26	20% золы+0,8% Glenium 111+0,04% лимонная кислота	5,51	14,69
27	20% золы+0,4% Glenium 111+0,04% лимонная кислота	5,77	18,77

гранулированный шлак – 15–35 %, молотую керамзитовую пыль – 10–20 %, известь – 2–4 %, суперпластификатор Полипласт СП-1 – 0,5–1 % от массы гипсового вяжущего. Высокие показатели водостойкости позволяют расширить область применения разработанных штукатурных гипсовых сухих смесей для отделочных работ в помещениях с повышенной влажностью (более 60 %). Составы разработанных композиционных вяжущих предусматривают замену до 55 % строительного гипса на промышленные отходы – молотые доменные гранулированные шлаки и керамзитовую пыль.

В работе [6] исследовано влияние минеральных (известняковая мука, гашеная известь) и органических (метилцеллюлоза, лимонная кислота, полимеры) добавок на свойства сухих гипсовых строительных смесей (прочность при сжатии и изгибе, водоудерживающую способность, жизнеспособность, прочность сцепления с основанием и др.). Методами математической статистики определено оптимальное содержание компонентов сухой гипсовой смеси для устройства отделочного покрытия. Наилучшим эксплуатационным показателям соответствует состав (мас. %): гипс – 76, известня-

ковая мука – 20, гашеная известь – 4, добавка на основе метилцеллюлозы – 0,3. Гидратная известь использовалась в качестве пластифицирующей добавки и замедлителя схватывания гипсового вяжущего. При введении гидратной извести в количестве 4 % наблюдалось повышение прочностей на сжатие (15,7 МПа) и на изгиб (5,1 МПа). Опираясь на результаты исследований, авторы пришли к выводу, что содержание тонкомолотого известняка не должно превышать 20 %.

В работе [7] авторы исследовали свойства сухих строительных смесей при введении в состав золы-уноса совместно с суперпластификатором “Полипаст СП-3” и известково-карбонатной пылью. Это способствовало улучшению их реологических свойств, ускорило гидратацию. При добавлении золы от 30 до 50 % от массы цемента было отмечено повышение прочности цементно-зольных растворов.

Авторами в работе [8] были исследованы физико-механические свойства СГС. Сделан вывод о том, что наилучшие прочностные показатели имеют образцы с добавкой Melment в пределах 0,1–0,5 % от массы вяжущего и, соответственно, образцы с добавками Rheobuild 1000K, Rheobuild 181K, Glenium 111 в количестве 0,1–0,8 % от массы гипса, и показывают наилучшие результаты.

Главной целью добавления золы-уноса ТЭС в состав смеси является уменьшение количества вяжущего, которое в свою очередь уменьшает затраты и отражается на себестоимости СГС. В составе СГС в качестве наполнителя использовалась зола-унос Бишкекской ТЭЦ. Она получается из 60 % карагандинских каменных улей и 40 % местных ташкумырских бурых углей; по виду и качеству топлива зола-унос является каменно- и бурогольной. По виду подготовки и условий сжигания топлива она относится к золам пылевидного сжигания. Химический и гранулометрический составы золы Бишкекской ТЭЦ приведены в таблице 1.

Физико-механические показатели гипсовых композиций исследовались на стандартных образцах-балочка размерами  $4 \times 4 \times 16$  см. При приготовлении растворной смеси ее подвижность определялась с помощью вискозиметра Сутгарда. Оптимальное водотвердое отношение подбиралось таким образом, чтобы растекаемость раствора была постоянной и составляла 18–20 см. Водотвердое отношение композиций на основе гипса без наполнителя составило 0,4. Для композиций на основе гипса и золы-уноса в количестве 10 и 20 % водотвердое отношение подбиралось от 0,42 до 0,44. После 7-суточного твердения в нормальных температурно-влажностных условиях образцы были высушены при температуре 100 °С до постоянного веса. После высушивания образцы были испытаны на прочность при изгибе и сжатии по

ГОСТ 31376–2008. Смеси сухие строительные на гипсовом вяжущем.

**Методы испытаний.** Результаты испытаний изготовленных составов приведены в таблице 2.

Экспериментальные данные показали, что составы, изготовленные без добавления наполнителя, имеют высокие физико-механические показатели по сравнению с составами с золой-уносом в количестве 10 и 20 %. При этом также наблюдается снижение показателей плотности образцов при введении наполнителя (рисунок 1). Показатели плотности всех образцов варьируются от 1,34 до 1,54 г/см<sup>3</sup> (таблица 3). Эталонный образец имеет высокие прочностные показатели:  $R_{сж} = 13,87$  МПа и  $R_{изг} = 2,21$  МПа (таблица 2). По сравнению с прочностными свойствами эталонного состава  $R_{сж}$  и  $R_{изг}$  состава № 5, содержащего добавку Rheobuild 181K в количестве 0,4 %, были равны 27,34 и 8,85 МПа соответственно. Самым низким показателем прочности на сжатие среди составов без золы-уноса, равным 13,87 МПа, обладает образец № 6 (см. таблицу 2) с добавкой Rheobuild 1000K в количестве 0,8 %. Прочностные показатели составов № 2–4, 7–9 (см. таблицу 2) не уступают показателям прочности эталонного состава. Показатели прочности данных композиций варьируются от 19,58 до 26,11 МПа. Средний показатель плотности среди композиций на основе гипса равен 1,5 г/см<sup>3</sup> (см. таблицу 3).

Анализируя физико-механические показатели композиций на основе гипса и золы-уноса в количестве 10 % от массы вяжущего, можно сказать, что максимальными прочностными показателями обладает состав № 13 (см. таблицу 2), в который вводится добавка Rheobuild 181K в количестве 0,8 %,  $R_{сж}$  данной композиции равен 22,44 МПа, а  $R_{изг} = 5,5$  МПа. Но понижение количества данной добавки до 0,4 % дает низкие показатели прочности на сжатие, равное 13,46 МПа (состав № 14). При введении в состав химической добавки Melment L10/33 в количестве 0,25 и 0,5 % показатели прочности на сжатие составляют 19,99 и 17,95 МПа соответственно (составы № 11 и № 12). Показатель прочности на сжатие состава № 10 на основе гипса и золы-уноса в количестве 10 % составляет 22,03 МПа. Прочностные показатели композиций, изготовленных введением суперпластификаторов Rheobuild 1000K и Glenium 111 (составы № 15–18) варьируются от 18,36 до 19,99 МПа (см. таблицу 2). Средний показатель плотности среди композиций на основе гипса с 10 %-ной добавкой золы-уноса равен 1,43 г/см<sup>3</sup> (см. таблицу 3).

При введении золы-уноса в количестве 20 % от массы вяжущего наблюдается снижение всех физи-

Таблица 3 – Показатели плотности образцов

№ п/п	Добавки	$\gamma$ образцов без наполнителя, г/см <sup>3</sup>	$\gamma$ образцов с 10 % золы, г/см <sup>3</sup>	$\gamma$ образцов с 20 % золы, г/см <sup>3</sup>
1	Без добавок*	1,54	1,47	1,39
2	0,5% Melment L10/33+0,04% лимонная кислота	1,51	1,44	1,4
3	0,25% MelmentL10/33+0,04% лимонная кислота	1,5	1,45	1,38
4	0,8% Rheobuild 181k+0,04% лимонная кислота	1,5	1,41	1,35
5	0,4% Rheobuild 181k+0,04% лимонная кислота	1,47	1,43	1,35
6	0,8% Rheobuild 1000k+0,04% лимонная кислота	1,48	1,39	1,34
7	0,4% Rheobuild 1000k+0,04% лимонная кислота	1,5	1,39	1,37
8	0,8%Glenium 111+0,04% лимонная кислота	1,49	1,42	1,36
9	0,4% Glenium 111+0,04% лимонная кислота	1,49	1,45	1,37

Примечание. \* – Эталонный образец.

ко-механических показателей гипсового камня по сравнению с составами с 10 %-ным наполнителем. Самым высоким показателем прочности на сжатие равным 20,04 МПа обладает образец в составе № 20 (см. таблицу 2), содержащий добавку Melment количестве 0,5 % при плотности 1,4 г/см<sup>3</sup> и при прочности на изгиб 5,6 МПа. Самым низким показателем прочности на сжатие, равным 10,61 МПа, обладает состав № 25 (см. таблицу 2), содержащий добавку Rheobuild 1000K в количестве 0,4 %, а показатель прочности на изгиб равен 4,41 МПа. Показатель прочности на сжатие состава № 19 на основе гипса и золы-уноса в количестве 20 % составляет 17,14 МПа, а показатель прочности на изгиб равен 7,77 МПа. Показатели прочности на сжатие составов № 21–27 (см. таблицу 2) варьируются от 10,61 до 18,77 МПа. Показатели плотности композиций на основе гипса с 20 %-ной добавкой золы-уноса низкие по сравнению с другими составами, и средний показатель плотности равен 1,35 г/см<sup>3</sup> (см. таблицу 3).

Результаты экспериментальные исследований позволили сделать вывод, что при введении в состав СГС золы-уноса ТЭС показатели прочности на сжатие образцов на основе гипса без наполнителя на 10 % выше показателей прочности на сжатие образцов на основе гипса с 10 %-ной

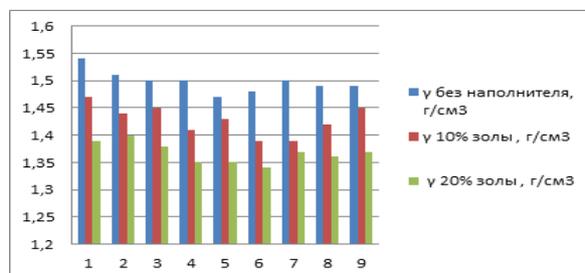


Рисунок 1 – Показатели плотности всех композиций

добавкой золы-уноса. А при сравнении с показателями прочности на сжатие образцов на основе гипса с 20 %-ной добавкой золы-уноса выше на 20 % наблюдается снижение показателей прочности на изгиб композиций на основе гипса с 10- и 20 %-ными добавками золы-уноса по сравнению с показателями прочности на изгиб составов на основе гипса на 16 и 23 % соответственно. Данные результаты доказывают эффективность применения золы-уноса ТЭС в качестве наполнителя. Это позволяет нам уменьшить расход гипсового вяжущего, что экономически целесообразно.

Существенным недостатком гипсовых материалов является их низкая водостойкость. Гипс значительно теряет прочность при увлажнении, поэтому не рекомендуется применять гипсовые материалы в конструкциях, подвергаемых длительному воздействию воды. Поэтому дальнейшие исследования будут направлены на изучение свойств водостойкости оптимальных составов.

#### Литература

1. Колесникова И.В. Научные и технологические принципы получения сухих гипсовых смесей пониженной вяжущей и полимеремкости: автореф. ... д-ра техн. наук / И.В. Колесникова. Алматы, 2010. С. 7–9.
2. Нарышкина М.Б. Стеновые материалы на основе композиционного гипсового вяжущего повышенной водостойкости: автореф. ... канд. техн. наук / М.Б. Нарышкина. Белгород, 2010. С. 7–13.
3. Василик П.Г. Совместное влияние химических компонентов на реологию растворов на гипсовой основе / П.Г. Василик, Д.А. Давыдов. URL: <http://www.chem.eurohim.ru/catalog/DryMortarAdditives/articles/art51.html> (дата обращения: 01.03.2014).
4. Дворкин Л.И. Вибропрессованный гипсовый бетон повышенной водостойкости / Л.И. Дворкин,

- В.В. Житковский, Р.Н. Кулакевич. URL: <http://www.energy-efficient.kiev.ua/wp-content/uploads/2010/02/beton.pdf> (дата обращения: 01.03.2014).
5. *Халиуллин М.И.* Водостойкие бесклинкерные композиционные гипсовые вяжущие с добавками промышленных отходов / М.И. Халиуллин, А.Р. Гайфуллин // Известия КазГАСУ. 2011. № 3. С. 157–165.
  6. *Парикова Е.В.* Влияние минеральных и органических добавок на свойства сухих гипсовых строительных смесей / Е.В. Парикова, В.Т. Безбородов, Г.И. Бердов // Строительные материалы. 2005. № 9. С. 8–10.
  7. *Дворкин Л.И.* Использование золы-уноса ТЭС в качестве компонента сухих строительных смесей / Л.И. Дворкин, О.Д. Дворкин, Ю.В. Гарницкий и др. // Европейская наука 21 века. 2008. Строительство и архитектура.
  8. URL: [http://www.rusnauka.com/Page\\_ru.htm](http://www.rusnauka.com/Page_ru.htm) (дата обращения: 01.03.2014)
  9. *Касымова М.Т.* Ячеистые бетоны и сухие гипсовые смеси из сырьевых материалов Кыргызстана / М.Т. Касымова, Н.А. Дыйканбаева, А.Т. Омурканова // Тр. межд. науч.-практ. конф. “Строительство – 2013”. Ростов н/Д, 2013. С. 40–44.