

УДК 691.263.5

**Рязанов Р.Р.** – аспирант

E-mail: [109224@mail.ru](mailto:109224@mail.ru)

**Мухаметрахимов Р.Х.** – аспирант

E-mail: [muhametrahimov@mail.ru](mailto:muhametrahimov@mail.ru)

**Изотов В.С.** – доктор технических наук, профессор

E-mail: [v\\_s\\_izotov@mail.ru](mailto:v_s_izotov@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

## ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО

### АННОТАЦИЯ

Разработаны составы эффективных гипсо-волоконистого и гипсоцементно-волоконистого материалов, модифицированных активными минеральными добавками и гиперпластификатором. Проведены исследования влияния типа и длины армирующего волокна, условий твердения и формования на физико-механические свойства образцов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** гипс, волокна, модифицированное смешанное вяжущее.

**Ryazanov R.R.** – post-graduate student

**Mukhametrakhimov R.Kh.** – post-graduate student

**Izotov V.S.** – doctor of technical sciences, professor

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

### FIBROUS CONSTRUCTION COMPOSITE MATERIALS BASED ON GYPSUM BINDERS

### ABSTRACT

Developed effective compositions gypsum fiber and sheetrock-fibrous materials modified with active mineral additives and hypersoftener. Investigated the influence of the type and length of the reinforcing fibers, curing and molding conditions on mechanical properties of the samples.

**KEYWORDS:** gypsum, fiber, a modified mixed binder.

Наряду с множеством положительных технических свойств гипс обладает значительной хрупкостью, что особенно сказывается при использовании тонкостенных листовых материалов и изделий (гипсовая сухая штукатурка). Для устранения хрупкости изделия искусственно упрочняют армирующими материалами (волокнами), вводимыми в состав формовочной массы или являющимися частями конструкции самого изделия [1].

В настоящее время отечественная промышленность обладает технологиями производства плит и панелей из гипсоволокнистых масс. Здесь арматурой является равномерно распределенное в гипсовой массе растительное волокно. Состав гипсоволокнистой массы следующий: гипс, волоконистое вещество, проклеивающие добавки. Технологический процесс производства гипсоволокнистых панелей состоит из следующих операций: подготовки сырья - строительного гипса и волоконистой массы, смешения массы, отливки изделия на сетке с последующим удалением из него избытка воды, уплотнения гипсоволокнистых панелей под прессом с доведением их толщины до заданной, сушки, обрезки и укладки панелей в штабеля. Таким образом, исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что данная технология имеет ряд существенных недостатков, а именно:

– строительный гипс малоприспособлен для приготовления изделий, так как он быстро прилипает к сетке, закрывает отверстия и затрудняет вакуумирование массы;

– необходимость введения проклеивающих добавок;

– сложность технологического процесса;

– низкая водостойкость гипсового вяжущего.

Также использование растительных волокон в производстве гипсоволокнистых панелей вызывает существенные проблемы с биологической коррозией и плесенеобразованием на поверхности изделий в процессе эксплуатации.

Целью настоящей работы является разработка составов гипсоволокнистых и гипсоцементно-волоконистых композиций, имеющих высокие физико-механические показатели при нормальной густоте затворения и естественных условиях твердения на основе низкомарочного гипса сырьевой базы Республики Татарстан.

Для достижения поставленной цели необходимо определить влияние вида, длины и объемного содержания волокон в гипсовом тесте на прочностные характеристики изделий.

В настоящей работе в качестве исходного вяжущего применялся строительный гипс ГББП производства ООО «Аракчинский гипс», произведенный по ГОСТ 125-79 в качестве активной минеральной добавки, использовали промышленный отход металлургической промышленности – ферросилиций, размолотый до удельной поверхности 391 м<sup>2</sup>/кг, портландцемент Вольского цементного завода ПЦ 400 Д20, гиперпластификатор «Одолит-К» (ТУ 5745-01-96326574-08).

В качестве волокон использовались:

- целлюлозные волокна (длиной 3-15 мм);
- рубленные базальтовые волокна (длиной 10-15 мм);
- стеклянные волокна (длина 20 мм);
- полипропиленовые волокна марки ВСМ-II (длина 6, 12, 18, 24 и 32 мм).

Таблица 1

## Результаты испытаний

| № состава | Марка волокна        | Объемное содержание волокна, % | В/Г  | Средняя плотность, г/см <sup>3</sup> | R <sub>изг</sub> , МПа | ККК   | R <sub>изг отн</sub> , % |
|-----------|----------------------|--------------------------------|------|--------------------------------------|------------------------|-------|--------------------------|
| 1         | ВСМ-II-6<br>(6 мм)   | 0                              | 0,56 | 1,29                                 | 6,42                   | 49,94 | 100,00                   |
| 2         |                      | 0,25                           | 0,44 | 1,44                                 | 7,27                   | 50,60 | 113,24                   |
| 3         |                      | 0,5                            | 0,46 | 1,43                                 | 7,87                   | 56,02 | 124,48                   |
| 4         |                      | 1                              | 0,48 | 1,37                                 | 6,86                   | 50,11 | 106,97                   |
| 5         |                      | 2                              | 0,49 | 1,36                                 | 6,56                   | 48,09 | 102,27                   |
| 6         |                      | 3                              | 0,5  | 1,35                                 | 6,46                   | 47,71 | 100,68                   |
| 7         | ВСМ-II-12<br>(12 мм) | 0                              | 0,56 | 1,29                                 | 6,42                   | 49,94 | 100,00                   |
| 8         |                      | 0,25                           | 0,44 | 1,46                                 | 6,94                   | 47,44 | 108,10                   |
| 9         |                      | 0,5                            | 0,46 | 1,44                                 | 7,96                   | 55,36 | 124,13                   |
| 10        |                      | 1                              | 0,48 | 1,38                                 | 8,05                   | 58,46 | 125,50                   |
| 11        |                      | 2                              | 0,49 | 1,36                                 | 7,32                   | 53,79 | 114,06                   |
| 12        |                      | 3                              | 0,5  | 1,36                                 | 7,15                   | 52,48 | 111,38                   |
| 13        | ВСМ-II-18<br>(18 мм) | 0                              | 0,56 | 1,29                                 | 6,42                   | 49,94 | 100,00                   |
| 14        |                      | 0,25                           | 0,44 | 1,46                                 | 7,76                   | 53,32 | 120,96                   |
| 15        |                      | 0,5                            | 0,46 | 1,42                                 | 8,13                   | 57,31 | 126,75                   |
| 16        |                      | 1                              | 0,48 | 1,40                                 | 8,20                   | 58,53 | 127,79                   |
| 17        |                      | 2                              | 0,49 | 1,37                                 | 7,89                   | 57,79 | 123,00                   |
| 18        |                      | 3                              | 0,5  | 1,34                                 | 7,61                   | 56,94 | 118,55                   |
| 19        | ВСМ-II-24<br>(24 мм) | 0                              | 0,56 | 1,29                                 | 6,42                   | 49,94 | 100,00                   |
| 20        |                      | 0,25                           | 0,44 | 1,48                                 | 7,61                   | 51,46 | 118,62                   |
| 21        |                      | 0,5                            | 0,46 | 1,42                                 | 6,27                   | 42,12 | 94,39                    |
| 22        |                      | 1                              | 0,48 | 1,39                                 | 5,56                   | 39,44 | 86,69                    |
| 23        |                      | 2                              | 0,49 | 1,36                                 | 4,75                   | 34,89 | 74,06                    |
| 24        |                      | 3                              | 0,5  | 1,37                                 | 4,29                   | 31,39 | 66,93                    |
| 25        | ВСМ-II-32<br>(32 мм) | 0                              | 0,56 | 1,29                                 | 6,42                   | 49,94 | 100,00                   |
| 26        |                      | 0,25                           | 0,44 | 1,45                                 | 6,96                   | 47,85 | 108,45                   |
| 27        |                      | 0,5                            | 0,46 | 1,42                                 | 6,05                   | 44,59 | 98,89                    |
| 28        |                      | 1                              | 0,48 | 1,41                                 | 5,53                   | 42,41 | 92,93                    |
| 29        |                      | 2                              | 0,49 | 1,35                                 | 4,94                   | 36,57 | 77,03                    |
| 30        |                      | 3                              | 0,5  | –                                    | –                      | –     | –                        |

Испытания проводились на стандартных образцах-балочках размерами 4x4x16 см, из формовочной смеси нормальной густоты по методике, описанной в ГОСТ 23789-79. Результаты ранее проведенных исследований позволили установить оптимальное содержание гиперпластификатора «Одолит-К», равное 1 % от массы вяжущего.

Выполненные исследования показали высокую эффективность целлюлозных волокон, увеличивающие прочностные характеристики пластифицированного высокопрочного гипса марки Г16 на 75-78 %. Однако аналогичные испытания на гипсе марки Г6 не имели аналогичного эффекта, так как повышение прочности на изгиб составило лишь 3-5 %.

Испытания с применением базальтового и стеклянного волокна (дозировки от 0,5 до 5 %) не показали эффективности в связи со слабой адгезией волокон к гипсовому камню на основе низкомарочного гипса.

Положительный эффект при использовании низкомарочного гипса был получен при использовании полипропиленового волокна (длиной 6, 12, 18, 24 и 32 мм). Результаты исследования влияния полипропиленового волокна на физико-механические характеристики гипса представлены в табл. 1.

Как видно из табл.1, максимальные физико-механические показатели достигаются при объемном содержании полипропиленового волокна марки ВСМ-П-18 (18 мм) в количестве 0,5-1 %. Дальнейшее увеличение длины и объемного содержания волокон приводит к их комкованию и снижению прочности.

Исследования деформаций усадки, выполненные по ГОСТ 24544-81, показали, что образцы, армированные полипропиленовыми волокнами в количестве 0,5-1 %, не имеют усадки, в то время как усадка контрольных образцов составила 0,5-0,6 %.

С целью повышения водостойкости вводились добавки портландцемента в количестве 15, 20, 25 % и ферросилиция – 5 % от массы вяжущего. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

## Результаты испытаний

| № | Содержание гипса, % | Содержание цемента, % | В/Г  | Содержание АМД, % | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Р <sub>изг</sub> , МПа | R <sub>сж</sub> , МПа |                | Коэффициент размягчения |
|---|---------------------|-----------------------|------|-------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------|----------------|-------------------------|
|   |                     |                       |      |                   |                              |                        | Сухих образцов        | Водонасыщенных |                         |
| 1 | 85                  | 15                    | 0,56 | 5                 | 1,70                         | 3,33                   | 185,2                 | 145,8          | 0,79                    |
| 2 | 80                  | 20                    | 0,53 | 5                 | 1,75                         | 3,90                   | 220,9                 | 195,1          | 0,88                    |
| 3 | 75                  | 25                    | 0,5  | 5                 | 1,73                         | 4,25                   | 213,1                 | 191,6          | 0,90                    |

Как видно из табл. 2, повышение содержания цемента в составе гипсоцементного вяжущего повышает прочностные характеристики и водостойкость образцов в семисуточном возрасте, выдержанных во влажных условиях.

Также определено оптимальное содержание портландцемента в составе гипсоцементного вяжущего, модифицированного полипропиленовым волокном и гиперпластификатором «Одолит-К». Во избежание комкования и равномерного распределения волокон в объеме формовочной массы применялось двухстадийное диспергирование. Результаты экспериментальных исследований гипсоцементно-волоконистых образцов представлены в табл. 3.

Таблица 3

## Результаты испытаний

| № п/п | Содержание волокна ВСМ-П-18, % | В/Г  | Содержание гипса, % | Содержание цемента, % | Содержание АМД, в % к цементу | Плотность образцов, г/см <sup>3</sup> | R <sub>изг</sub> , МПа | R <sub>сж</sub> , МПа |
|-------|--------------------------------|------|---------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 1     | 0,7                            | 0,43 | 85                  | 15                    | 5                             | 1,79                                  | 5,31                   | 334,98                |
| 2     | 0,7                            | 0,4  | 80                  | 20                    | 5                             | 1,80                                  | 5,58                   | 318,27                |
| 3     | 0,7                            | 0,37 | 75                  | 25                    | 5                             | 1,80                                  | 4,45                   | 243,55                |

Как видно из табл. 3, наиболее оптимальное значение содержания цемента в гипсоцементно-волоконистых изделиях составляет 20 %.

В табл. 4 представлены результаты испытаний гипсоцементно-волоконистых образцов в семисуточном возрасте следующего состава: гипс – 80 %; (цемент + АМД) – 20 %; волокно (длиной от 18 до 24 мм) – 0,7 % по объему смеси; Одолит-К – 1 % от массы сухого вяжущего.

Таблица 4

## Результаты испытаний

| № п/п | Содержание пластификатора, % | В/Г | Длина волокна, мм | Плотность образцов, г/см <sup>3</sup> | R <sub>изг</sub> , МПа | R <sub>сж</sub> , МПа |
|-------|------------------------------|-----|-------------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 1     | 1                            | 0,4 | 18                | 1,65                                  | 5,31                   | 344,62                |
| 2     | 1                            | 0,4 | 24                | 1,69                                  | 5,72                   | 321,29                |
| 3     | 1                            | 0,4 | 32                | 1,48                                  | 5,21                   | 256,57                |

Как видно по результатам испытаний, представленным в табл. 4, прочность на изгиб с увеличением длины волокна от 18 до 24 мм изменяется незначительно, следовательно, наиболее оптимальным для изготовления гипсоцементно-волоконистых образцов будет волокно длиной 18 мм, так как это позволит уйти от двухстадийной диспергации и облегчить тем самым технологию производства готовых изделий.

Так как механизмы процессов гидратации гипсового и цементного вяжущего существенно различаются, необходимо определить, какой из компонентов в гипсоцементно-волоконистых образцах в большей степени влияет на физико-механические свойства. Пропаривание образцов применяется, исходя из предположений, что портландцемент может наиболее активно взаимодействовать с АМД при более высоких температурах и в среде насыщенного водяного пара, что в принципе может положительно отразиться на прочностных характеристиках образцов в более поздние сроки. Для решения этой задачи были изготовлены четыре серии образцов одинакового состава, три из которых подвергли пропариванию в течение 12 часов при температуре 80 °С, 90 °С и 100 °С, а затем сушке при 60 °С до постоянной массы. Четвертая серия выдерживалась в течение трех часов в естественных условиях, а затем также сушилась до постоянной массы при температуре 60 °С в течение 24 часов. Состав образцов: гипсовое вяжущее Г-6 – 80 % по массе; портландцемент – 19 %; АМД – 1 %. Результаты испытаний данных образцов представлены в табл. 5.

Таблица 5

## Результаты испытаний

| № п/п | Условия твердения          | В/Г  | Плотность, г/см <sup>3</sup> | R <sub>изг</sub> , МПа | R <sub>изг</sub> , % |
|-------|----------------------------|------|------------------------------|------------------------|----------------------|
| 1     | Проп. 80 °С + сушка 60 °С  | 0,53 | 1,41                         | 8,93                   | 144,6                |
| 2     | Проп. 90 °С + сушка 60 °С  | 0,53 | 1,39                         | 8,87                   | 143,6                |
| 3     | Проп. 100 °С + сушка 60 °С | 0,53 | 1,34                         | 8,5                    | 137,5                |
| 4     | Выдерж. + сушка 60 °С      | 0,53 | 1,32                         | 6,18                   | 100                  |

Из табл. 5 видно, что прочность при изгибе гипсоцементно-пуццолановых образцов, подвергшихся сушке после выдержки в естественных условиях, существенно ниже прочности образцов, подвергшихся пропариванию. Очевидно, это связано с удалением влаги в процессе сушки, что нарушает оптимальные условия гидратации портландцемента в составе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего.

Совершенно иная картина наблюдается при пропаривании образцов. Это обуславливается, как сказано выше, активным взаимодействием портландцемента с АМД при более высоких температурах в среде насыщенного водяного пара.

Таким образом, результаты испытаний показали, что оптимальным режимом тепловой обработки гипсоцементно-пуццоланового вяжущего является пропаривание при температуре 80 °С в течение 12 часов с последующей сушкой при температуре 60 °С до постоянной массы.

Следует также отметить, что пропаривание образцов всех трех составов приводит к увеличению плотности образцов. Это связано с более полным вовлечением портландцемента и АМД в процесс образования структуры камня за счет увеличения объема гидросиликатов

кальция. Процесс увеличения плотности образцов сопровождается увеличением их прочностных характеристик и водостойкости.

**Выводы.** Выполненные исследования позволили получить составы гипсоцементно-волоконистых композиций, имеющие прочность на изгиб образцов в 28-суточном возрасте – 8,5-8,9 МПа, коэффициент размягчения готовых образцов не менее 0,88.

Анализ результатов исследований позволяет заключить, что разработанный гипсоцементно-волоконистый композиционный материал имеет большой потенциал для получения качественно новых конструкционных материалов для производства широкого спектра строительных изделий и материалов. Доказано экспериментами, что технологические процессы прессования, экструдирования или вакуумирования позволяют снизить В/Г отношение и значительно повысить прочностные характеристики готовых изделий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев В.А., Комар А.Г. Строительные материалы. – М.: Изд-во «Стройиздат», 1971. – 496 с.
2. ГОСТ 125-79. Вяжущие гипсовые. Технические условия.
3. ГОСТ 23789-79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.
4. ГОСТ 24544-81\*. Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести.

### REFERENCES

1. Vorobiev V.A., Komar A.G. Building materials. – Moscow: Izd-vo «Stroyizdat», 1971. – 496 p.
2. GOST 125-79. Astringent plaster. Specifications.
3. GOST 23789-79. Astringent plaster. Test methods.
4. GOST 24544-81 \*. Concrete. Methods for determination of shrinkage and creep deformations.