

УДК 691.328.5

**Мухаметрахимов Р.Х.** – аспирант, ассистент

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

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

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

## **ВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ГИДРАТАЦИЮ ВЯЖУЩЕГО И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФИБРОЦЕМЕНТНЫХ ПЛИТ**

### **АННОТАЦИЯ**

В статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния активных минеральных добавок на гидратацию вяжущего и физико-механические свойства фиброцементных плит.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** активные минеральные добавки, гидратация вяжущего, фиброцементные плиты.

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

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

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

## **EFFECT OF ACTIVE MINERAL ADDITIVES ON HYDRON OF BINDER TATSIYU AND PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF FIBER-CEMENT PLATES**

### **ABSTRACT**

In the article suggest the results of experimental studies of the effect of active mineral additives on the hydration of binder and the physical and mechanical properties of fiber-cement boards.

**KEYWORDS:** active mineral supplements, hydration of binder, fiber cement boards.

Одной из важнейших задач современной промышленности строительных материалов является развитие отечественного производства высокоэффективных строительных материалов, среди которых важное место занимают материалы автоклавного твердения [1], а также разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий [2]. Исследования, направленные на частичную замену цемента, как дорогостоящего компонента вяжущего вещества, на наиболее доступные и дешевые минеральные материалы – минеральные добавки – ведутся на протяжении многих лет. К минеральным добавкам для вяжущих материалов относятся многие вещества преимущественно неорганического состава, не растворимые в воде. Тонкомолотые дисперсные компоненты различной минеральной природы, входящие в состав системы «цемент-наполнитель», существенным образом могут повлиять на реологические и структурно-механические свойства вяжущих [3] и долговечность бетонов на их основе [4].

Настоящая работа посвящена изучению влияния активных минеральных кремнеземсодержащих добавок (АМД) на кинетику гидратации смешанного вяжущего и прочность фиброцементных плит автоклавного твердения на его основе.

Фиброцементные плиты (ФЦП) представляют собой искусственный композиционный каменный строительный материал, получаемый в результате затвердевания смеси, состоящей из цемента, волокон ( $\approx 5-20$  % от массы цемента) и воды.

Для установления общих закономерностей влияния активных минеральных добавок на свойства цементно-песчаного раствора и фиброцементных плит использовали портландцемент ПЦ500Д0 Вольского завода и ПЦ400Д20 Ульяновского завода, состав которых приведен в табл. 1.

Таблица 1

**Составы портландцементов**

| Цемент                     | Процентное содержание главных окислов |                                |                                |      | Содержание основных минералов |                  |                  |                   |
|----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
|                            | SiO <sub>2</sub>                      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | C <sub>3</sub> S              | C <sub>2</sub> S | C <sub>3</sub> A | C <sub>4</sub> AF |
| Вольский завод ПЦ500Д0     | 22,0                                  | 4,79                           | 5,32                           | 66,2 | 62                            | 17               | 4                | 14                |
| Ульяновский завод ПЦ400Д20 | 22,1                                  | 5,0                            | 9,0                            | 64   | 54                            | 20               | 11               | 12                |

В качестве мелкого заполнителя использовали молотый кварцевый песок Камского месторождения,  $S_{уд}=192\text{ м}^2/\text{кг}$ . В качестве активных минеральных добавок были использованы промышленные отходы металлургической промышленности: гранулированный доменный шлак ( $S_{уд}=230\text{ м}^2/\text{кг}$ ), ферросилиций ( $S_{уд}=391\text{ м}^2/\text{кг}$ ), алюмосиликат ( $S_{уд}=350\text{ м}^2/\text{кг}$ ), а также каолин ( $S_{уд}=1357\text{ м}^2/\text{кг}$ , ГОСТ 19608-84) и трепел Джабузского месторождения Калужской области (аморфный SiO<sub>2</sub>=52,22 %,  $S_{уд}=1194\text{ м}^2/\text{кг}$ ). Дифференциальные кривые распределения радиусов частиц показаны на рис. 1.

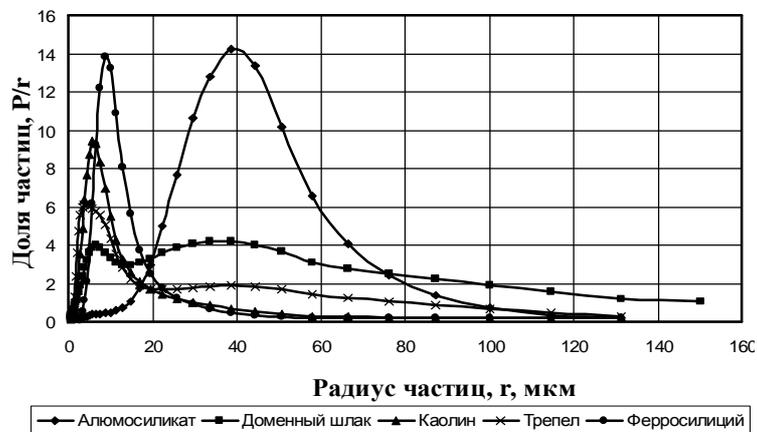


Рис. 1. Дифференциальные кривые распределения радиусов частиц АМД

Изучено влияние активных минеральных добавок на физико-механические характеристики фиброцементных плит автоклавного твердения. В качестве армирующих волокон использовали целлюлозу хвойную сульфатную небеленую марок НСК, производства ОАО «Соломбальский ЦБК» (ТУ 13-00279189-06-2001) по технологии, описанной в работе [5]. Результаты исследований влияния добавок на предел прочности при изгибе ФЦП по ГОСТ 8747-88 приведены на рис. 2.

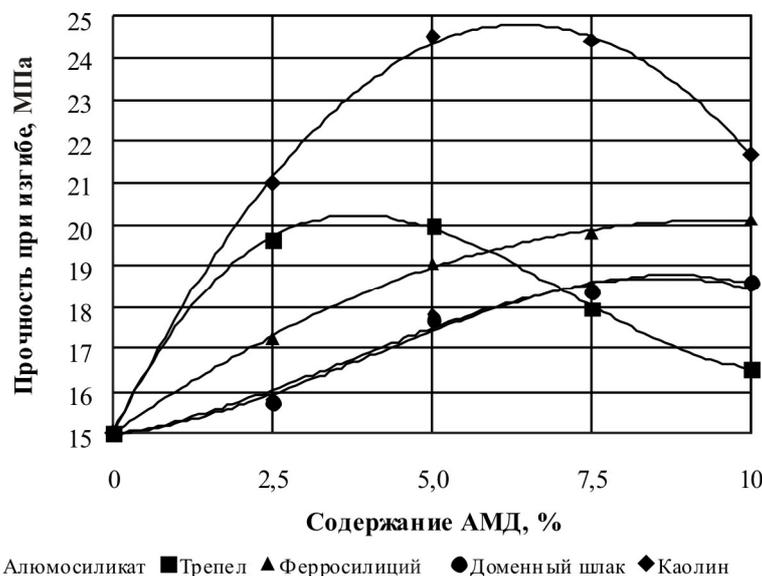


Рис. 2. Зависимости относительного предела прочности при изгибе ФЦП от содержания АМД

По результатам испытаний получены математические зависимости предела прочности при изгибе ФЦП от содержания АД (R<sub>изг</sub>), которые выражаются полиномами второй и третьей степени с доверительной вероятностью (R<sup>2</sup>) следующего вида:

для каолина:  $R_{изг}(к) = -1,504x^2 + 10,7x + 5,762; R^2=0,998;$  (1)

для трепела:  $R_{изг}(т) = 0,409x^3 - 4,719x^2 + 16,02x + 3,274; R^2=0,998;$  (2)

для ферросилиция:  $R_{изг}(ф) = -0,355x^2 + 3,408x + 11,93; R^2=0,998;$  (3)

для доменного шлака:  $R_{изг}(д) = -0,141x^3 + 1,107x^2 - 1,351x + 15,34; R^2=0,986;$  (4)

для алюмосиликата:  $R_{изг}(а) = -0,13x^3 + 0,967x^2 - 0,902x + 15,00; R^2=0,976.$  (5)

Из рис. 2 видно, что введение исследуемых добавок в состав фиброцементной смеси позволяет существенно повысить предел прочности при изгибе. Так, добавки алюмосиликата и доменного шлака повышают прочность на 25 %, ферросилиция на 32-34 % при их содержании 7,5-10 %, добавка трепела на 31-34 % при содержании 2,5-5 %, добавка каолина на 65 % при содержании 5-7,5 %.

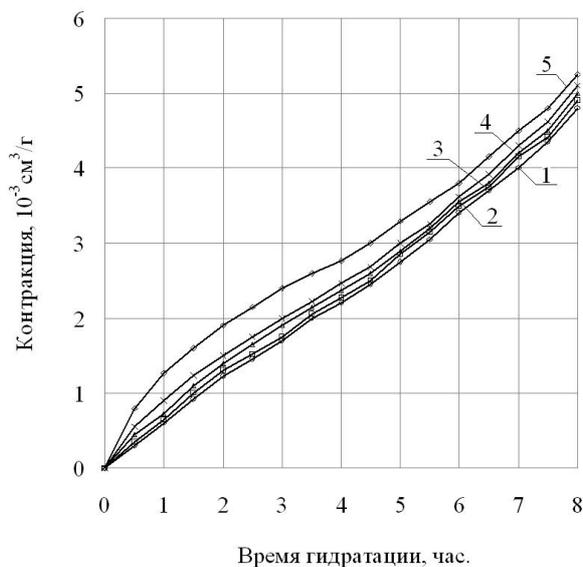


Рис. 3. Контракция смешанного вяжущего с добавкой каолина при температуре 20 °С:  
1 – портландцемент; 2 – вяжущее, содержащее 10 % АД; 3 – то же, 20 %; 4 – то же, 30 %; 5 – то же, 40 %

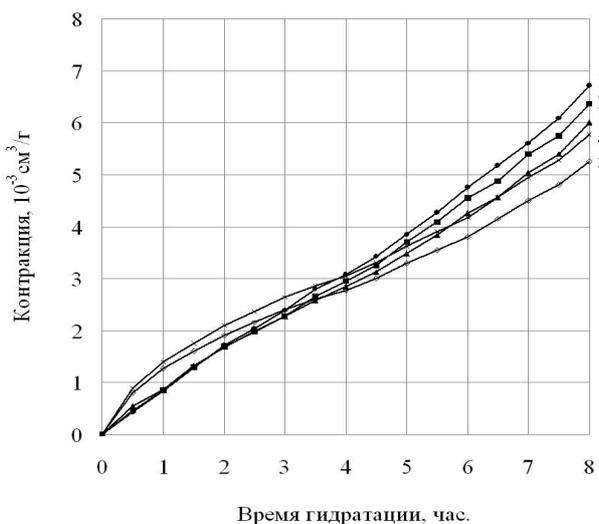


Рис. 4. Контракция смешанного вяжущего в пересчете на клинкерную часть.  
1 – портландцемент; 2 – вяжущее, содержащее 10 % АД; 3 – то же, 20 %; 4 – то же, 30 %; 5 – то же, 40 %

Твердение цементов с активными минеральными добавками является результатом сложных физико-химических процессов, которые происходят при взаимодействии вяжущего с

водой и продуктов его гидратации с АМД. Комплекс физико-химических процессов, протекающих при структурообразовании цементных смесей, может быть наиболее полно описан кинетикой тепловыделения [6] и контракцией [7]. Кинетика гидратации смешанного вяжущего изучалась при помощи термосной калориметрии и контракции. Результаты измерения контракции вяжущего приведены на рис. 3 и 4. Объем контракции рассчитан на 1 г вяжущего ( $V_v$ ) и на 1 г его клинкерной части ( $V_k$ ).

Как видно из данных, приведенных на рис. 3, 4, скорость гидратации смешанного вяжущего зависит от его состава. Чем больше в смешанном вяжущем активной минеральной добавки, тем выше скорость гидратации вяжущего и выше конечное значение величины контракции в пересчете на единицу клинкерной части вяжущего (рис. 4).

Определение теплоты гидратации смешанного вяжущего проводили калориметрическим методом по ГОСТ 310.5-80. Изучали влияние количества каолина как наиболее активной минеральной добавки в составе смешанного вяжущего на кинетику тепловыделения и характер изменения температуры гидратации. Результаты исследований приведены в табл. 2. Анализ кинетики тепловыделения показывает, что введение каолина в состав смешанного вяжущего оказывает влияние как на температуру, так и на ход процесса гидратации вяжущего. Температура гидратации зависит от содержания активной минеральной добавки. Так, с увеличением содержания каолина температура гидратации снижается. Однако, сопоставляя кривые тепловыделения портландцемента и смешанного вяжущего, можно сделать вывод, что уменьшение температуры гидратации не пропорционально содержанию добавок. При содержании каолина 10 % от массы вяжущего температура его гидратации на 3-5 °С выше, чем у портландцемента. Более раннее достижение температурного максимума на кривых гидратации смешанного вяжущего с содержанием каолина до 10 % свидетельствует об интенсификации процесса гидратации в начальный период твердения. Увеличение количества каолина в составе вяжущего, особенно более 10 %, приводит к замедлению процесса гидратации и снижению температурного максимума. Максимальная температура гидратации смешанного вяжущего с содержанием каолина до 10 % превышает максимальную температуру гидратации портландцемента. Это связано с более высокой степенью гидратации смешанного вяжущего, по сравнению с исходным портландцементом.

В табл. 3 приведены результаты расчета удельного количества выделившегося тепла при гидратации смешанного вяжущего в термосном калориметре. За удельное тепловыделение принято количество выделившегося тепла, отнесенного к одному грамму вяжущего (над чертой) и к одному грамму клинкерной части вяжущего (под чертой).

Как видно из данных табл. 2, удельное тепловыделение в пересчете на грамм вяжущего растет с увеличением содержания активной минеральной добавки до 10 % и снижается при дальнейшем увеличении ее дозировки. Аналогичная картина наблюдается при анализе изменения удельного тепловыделения в пересчете на единицу клинкерной части вяжущего.

Таблица 2

#### Тепловыделение смешанного вяжущего

| № | Доля каолина в вяжущем, % | Удельное тепловыделение, (кал/г) | Температурный максимум, °С | Время достижения темпер. максимума, мин | Снижение (повышение) тепловыделения, % |
|---|---------------------------|----------------------------------|----------------------------|---|--|
| 1 | -                         | -/64                             | 67,0                       | 660                                     | -                                      |
| 2 | 10                        | 74/82                            | 71,5                       | 645                                     | +16,4(+29,3)                           |
| 3 | 20                        | 53/65                            | 63,5                       | 690                                     | -16(+5,1)                              |
| 4 | 30                        | 43/57                            | 53,0                       | 750                                     | -32,3(-3,24)                           |

#### Выводы:

1. При оптимальном содержании минеральной добавки в составе смешанного вяжущего формируется оптимальная капиллярно-пористая структура цементного камня и повышенный объем гидратных новообразований. При повышенном объемном содержании АМД происходит формирование неоптимальной капиллярно-пористой структуры камня, приводящей к

снижению эффективности использования вяжущих свойств цемента и снижению физико-механических свойств ФЦП на основе данного состава вяжущего.

2. Введение исследуемых добавок в состав фиброцементной смеси позволяет существенно повысить предел прочности при изгибе. Так, добавки алюмосиликата и доменного шлака повышают прочность на 25 %, ферросилициума на 32-34 %, трепела на 31-34 %, каолина на 65 %.

3. Исследование добавок на кинетику гидратации смешанного вяжущего показало, что чем больше в смешанном вяжущем активной минеральной добавки, тем выше скорость гидратации вяжущего и выше конечное значение величины контракции в пересчете на единицу клинкерной части вяжущего. Удельное тепловыделение в пересчете на грамм вяжущего растет с увеличением содержания активной минеральной добавки до 10 % и снижается при дальнейшем увеличении ее дозировки. Аналогичная картина наблюдается при анализе изменения удельного тепловыделения в пересчете на единицу клинкерной части вяжущего.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудеярова Н.П. Вяжущие автоклавного твердения: Учеб. Пособие. – 2-е изд., доп. и перераб. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. – 135 с.
2. Урханова Л.А., Содномов А.Э., Костромин Н.Н. Пути повышения эффективности строительных материалов на основе активных вяжущих веществ // Строительные материалы, 2006, №1. – С. 34-35.
3. Демьянова В.С., Дубошина Н.М., Черкасов В.Д., Краснощеков А.А., Казанцева И.А. Моделирование состава и оптимизация процессов структурообразования смешанного вяжущего. – 4-е Академические чтения РААСН // Материалы Междунар. научн.-техн. конф., часть 2. – Пенза, 1998. – 188 с.
4. Изотов В.С. Особенности формирования структуры и свойств смешанных вяжущих // Приволжский научный журнал, 2009, № 1. – С. 52-56.
5. Мухаметрахимов Р.Х., Изотов В.С. Технология получения цементно-волоконного композиционного материала для изготовления фиброцементных плит // Сборник статей VIII международной научно-технической конференции «Материалы и технологии XXI века». – Пенза, 2010. – С. 105-106.
6. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1971. – 224 с.
7. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.

### REFERENCES

1. Kudayarova N.P. Binders of autoclave solidification: Ucheb. Posobiye, 2-e izd., dop. i pererab. – Belgorod: Izd-vo BGTU im. V.G. Shukhova, 2005. – 135 p.
2. Urkhanova L.A., Sodnomov A.E., Kostromin N.N. Ways to improve efficiency of building materials on the basis of active binders // Stroitelnyye materialy, 2006, № 1. – P. 34-35.
3. Demyanova V.S., Duboshina N.M., Cherkasov V.D., Krasnoshchekov A.A., Kazantseva I.A. Simulation and optimization of the structure forming the mixed binder. – IV Academic readings of RAACS // Materialy Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf., chast 2. – Penza, 1998. – P. 188.
4. Izotov V.S. Features of structure formation and properties of mixed binders // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal, 2009, № 1. – P. 52-56.
5. Mukhametrakhimov R.Kh., Izotov V.S. Technology for producing cement-fiber composite material for the manufacture of fiber-cement boards // Sbornik statey VIII mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Materialy i tekhnologii XXI veka». – Penza, 2010. – P. 105-106.
6. Mchedlov-Petrosyan O.P. Chemistry of nonorganic building materials. – M.: Stroyizdat, 1971. – 224 p.
7. Volzhenskiy A.V. Mineral binding substance. – M.: Stroyizdat, 1979. – 476 p.