

УДК 691.33

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

E-mail: [V\\_S\\_izotov@mail.ru](mailto:V_S_izotov@mail.ru)

**Ибрагимов Р.А.** – аспирант

E-mail: [rusmag007@yandex.ru](mailto:rusmag007@yandex.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ГИДРАТАЦИИ ЦЕМЕНТА С КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ**

### **АННОТАЦИЯ**

В работе проведен анализ влияния новой комплексной добавки на особенности процесса гидратации и степень гидратации цемента в различных условиях твердения: естественное твердение, термовлажностная обработка, автоклавная обработка. Показано влияние комплексной добавки на физико-механические свойства цементно-песчаного раствора, твердевшего в различных условиях.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** добавки, ИК-спектроскопия, условия твердения, степень гидратации.

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

**Ibragimov R.A.** – post-graduate student

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

## **FEATURES OF PROCESS OF HYDRATION OF CEMENT WITH THE COMPLEX ADDITIVE**

### **ABSTRACT**

In work the analysis of influence of the new complex additive on features of process of hydration and a degree of hydration of cement in various conditions herding is lead: natural herding, heat during hydration processing, autoclave processing. Influence of the complex additive on physic mechanical properties of the cement-sandy solution hardening in various conditions is shown.

**KEYWORDS:** additives, infra-red spectroscopy, conditions herding, a degree of hydration.

В настоящее время перед строительной отраслью остро стоит проблема обеспечения высоких функциональных свойств строительных материалов при условии минимизации материальных, энергетических и трудовых затрат. Основными направлениями совершенствования цементных композиций является энерго- и ресурсосбережение, улучшение технологичности, повышение прочности и долговечности. К сожалению, в России бетоны высокой прочности и долговечности недостаточно востребованы, но развитие рыночной экономики начинает изменять сложившуюся тенденцию на диаметрально противоположную. Основным акцентом в развитии бетоноведения становится не экономия какого-либо материала, например цемента, а получение качественных конкурентоспособных бетонов, к числу которых относят бетоны с высокой ранней и нормативной прочностью, с высокой долговечностью, а также все большее предпочтение отдается разработке комплексных добавок – полифункциональных модификаторов бетонных смесей и бетонов, позволяющих решать несколько задач [1].

Нами разработана комплексная добавка на основе гиперпластификатора и ускорителя твердения. В качестве гиперпластификатора использована добавка «Одолит-К», представляющая собой высокоэффективный концентрат пластификатора 1-ой группы с ускоряющим и самоуплотняющим действием на основе специальных карбоксилатов без содержания солей. Данная добавка производится ООО «Сервис Групп» по ТУ 5745-01-96326574-08.

В качестве ускорителя твердения использована добавка сульфата натрия (СН).

Предварительными испытаниями установлено оптимальное содержание компонентов комплексной добавки, которое составило: гиперпластификатор – 1 % от массы цемента, ускоритель твердения – 2 % от массы цемента.

Для установления влияния режима твердения цементно-песчаного раствора, модифицированного комплексной добавкой, на конечную прочность были проведены следующие

опыты. Изготавливались цементно-песчаные балочки размером 4x4x16 см составом цемент:песок = 1:3, часть образцов хранили 28 суток в нормально-влажностных условиях, часть образцов подвергали тепловлажностной обработке, часть образцов подвергали автоклавной обработке. В эксперименте применялся портландцемент Вольского завода М500 Д0 и портландцемент Ульяновского завода М400 Д20.

Тепловлажностная обработка проводилась по следующему режиму: 2 часа выдержка изделий, 3 часа – изотермический подъем до температуры 80 °С, 6 часов – изотермический прогрев, 2 часа – охлаждение.

Перед автоклавированием образцы 1 сутки выдерживались в форме, затем распалубливались и помещались в автоклав. Автоклавная обработка проводилась по следующему режиму: 3 часа – подъем температуры до 180 °С и давления 13 МПа, 6 часов выдержка при температуре 180 °С и давлении 13 МПа, 8 часов – охлаждение. Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты экспериментальных исследований влияния условий твердения на прочность цементно-песчаного раствора**

№ п/п	Содержание комплексной добавки, %	Прочность цементно-песчаного раствора в зависимости от условий твердения					
		естественное твердение		термовлажностная обработка		автоклавная обработка	
		при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии
1	-	<u>7.05*</u>	<u>49.04*</u>	<u>4.97</u>	<u>37.45*</u>	<u>9.22*</u>	<u>65.25*</u>
		4.98	34.45	3.78	28.25	7.23	47.45
2	3.1	<u>9.91</u>	<u>79.33</u>	<u>7.46</u>	<u>59.85</u>	<u>14.44</u>	<u>87.35</u>
		7.21	57.66	5.88	37.45	9.88	66.35

Примечание\*: над чертой приведены показатели для портландцемента Вольского завода; под чертой – портландцемента Ульяновского завода.

Результаты экспериментальных исследований влияния прочности на сжатие представлены на рис. 1.

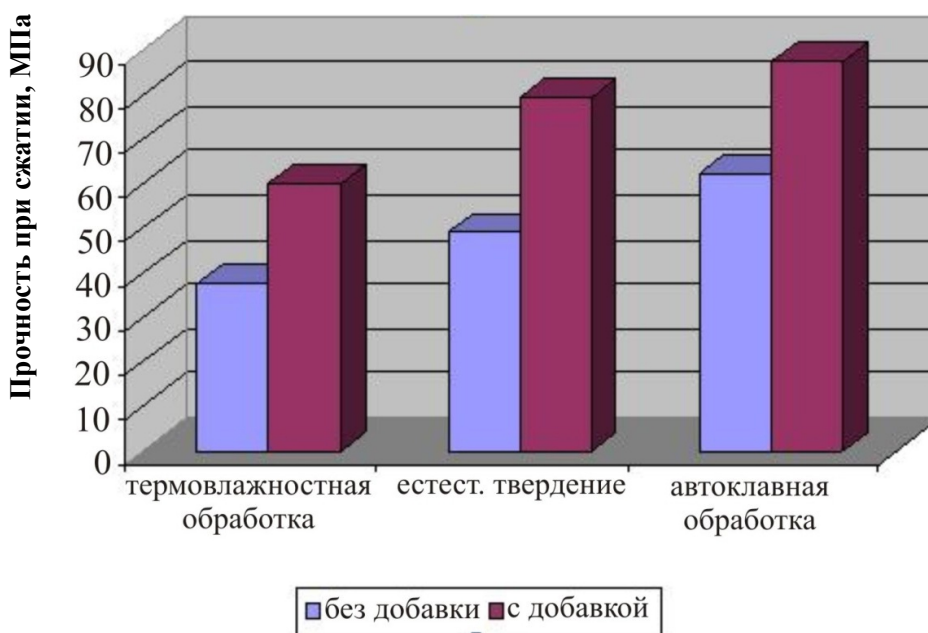


Рис. 1. Влияние прочности цементно-песчаного раствора на сжатие в зависимости от условий твердения

Выявлено, что прочность на сжатие цементно-песчаного раствора с комплексной добавкой при пропаривании увеличивается на 32-60 %, при изгибе – на 55-50 %, при естественном твердении прочность при сжатии увеличивается на 67-62 %, при изгибе – на 44-41 %, при автоклавировании прочность при сжатии увеличивается на 39-41 %, прочность при изгибе – на 37-57 %.

Одной из возможных причин повышения прочности цементного камня, раствора и бетона при введении комплексной добавки следует считать увеличение продуктов гидратации, уплотняющих структуру цементного камня. В связи с чем произведена оценка степени его гидратации в зависимости от различных условий твердения.

Количество гидратированной воды определялось по соотношению интенсивности рефлексов негидратированных компонентов клинкера – алита, белита и рефлексов гидратных новообразований в виде гидрата окиси кальция и двухкальциевых гидросиликатов по кривым ДТА.

Результаты определения степени гидратации цементного камня приведены в табл. 2.

Таблица 2

### Степень гидратации портландцемента

№ п/п	Составы	СГ, усл. ед.
1	Портландцемент с комплексной добавкой, подвергнутый автоклавной обработке	0.81
2	Портландцемент с комплексной добавкой, подвергнутый тепловлажностной обработке	0.67
3	Портландцемент без добавки, подвергнутый тепловлажностной обработке	0.54
4	Портландцемент без добавки, подвергнутый автоклавной обработке	0.65
5	Портландцемент с комплексной добавкой, твердевший в естественных условиях	0.74
6	Портландцемент без добавки, твердевший в естественных условиях	0.59

Результаты (табл. 2) показывают, что наиболее интенсивное увеличение степени гидратации цементного камня наблюдается при автоклавной обработке состава с комплексной добавкой, в то же время степень гидратации портландцемента без добавки также существенно увеличивается по сравнению с контрольным составом, твердевшим в нормальных условиях.

Степень гидратации цемента с комплексной добавкой при автоклавной обработке увеличивается на 37 %, при тепловлажностной обработке – на 13 %, при естественном твердении на 25 % соответственно по сравнению с составом без добавки, твердевшим в нормальных условиях.

Результаты исследования особенностей фазового состава продуктов гидратации цемента с комплексной добавкой методом ИКС приведены на рис. 2-4. ИК спектры образцов цементного камня снимались на инфракрасном Фурье-спектрометре Spectrum VX II по методу неполного внутреннего отражения с использованием в качестве внутреннего стандарта КВ.

Как видно из данных рис. 2-4, спектрограммы цементного камня характеризуются наличием нескольких специфических максимумов. Наличие максимума полосы поглощения при  $900-1000\text{ см}^{-1}$  характеризует гидросульфатоалюминат кальция, содержание которого располагается в следующем порядке возрастания: 3 состав, 6 состав, 4 состав, 5 состав, 2 состав и 1 состав. При этом более четкая разрешимость спектра с максимумом  $1000\text{ см}^{-1}$  указывает на лучшую закристаллизованность ГСАК в присутствии комплексной добавки, особенно в составе, подвергнутом автоклавной обработке. Максимум поглощения при  $1400-1600\text{ см}^{-1}$ , а также широкая полоса спектра в области  $3300-3500\text{ см}^{-1}$  свидетельствует о наличии субмикрочастиц гидросиликатов группы тоберморита, содержание которых в образцах с комплексной добавкой выше, чем в составе без добавок. Хорошая разрешенность спектра в этих областях указывает на более высокую степень закристаллизованности отмеченных выше гидросиликатов кальция в присутствии комплексной добавки. Узкая, хорошо разрешимая полоса спектра поглощения с максимумом  $3590-3650\text{ см}^{-1}$  характеризует наличие гидроксидов гидросиликатов группы ксонотлита.

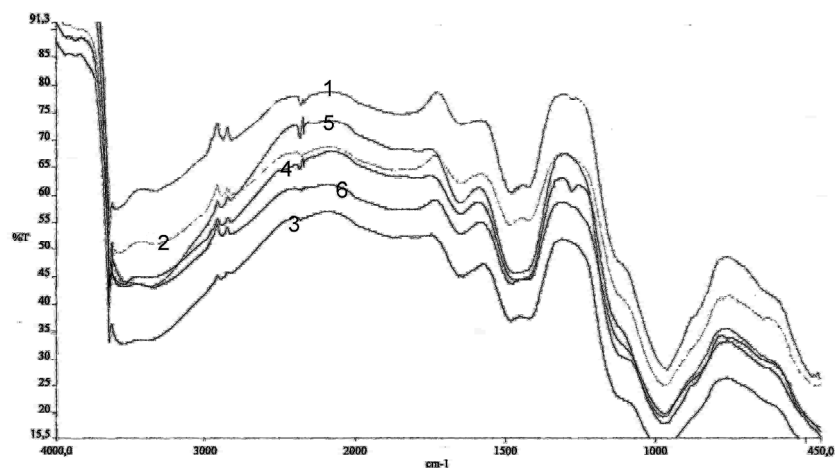


Рис. 2. Спектрограмма образцов цементного камня, твердевших в различных условиях. Усл. обознач. представлены в табл. 2

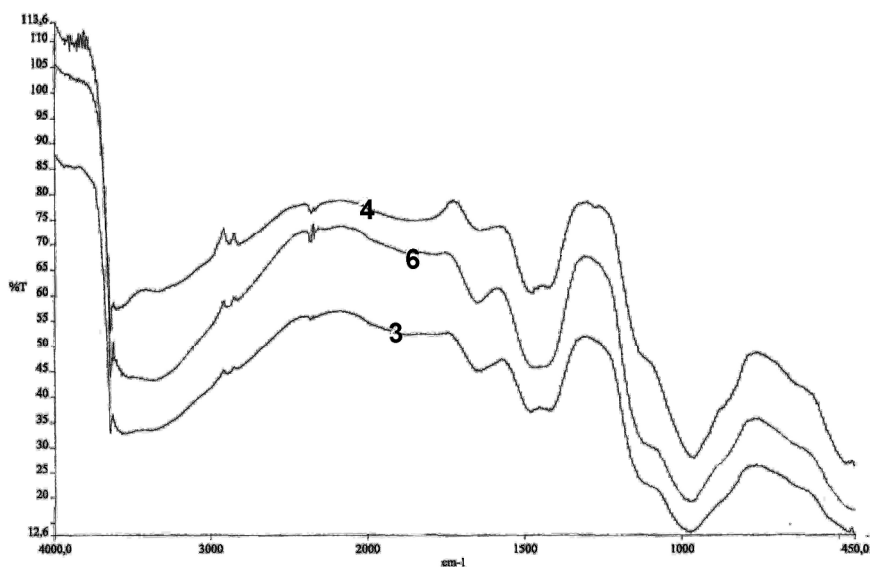


Рис. 3. Спектрограмма образцов цементного камня без добавок, твердевших в различных условиях. Усл. обознач. представлены в табл. 2

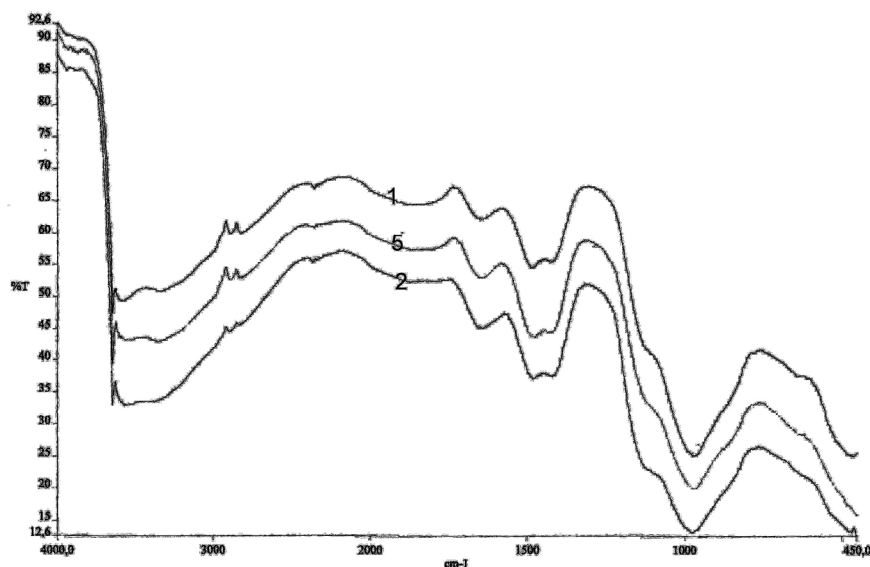


Рис. 4. Спектрограмма образцов цементного камня с комплексной добавкой, твердевших в различных условиях. Усл. обознач. представлены в табл. 2

Из представленных результатов видно, что наибольшее поглощение спектра наблюдается при частотах  $900-1000\text{ см}^{-1}$ ,  $1400-1600\text{ см}^{-1}$ ,  $3590-3650\text{ см}^{-1}$ . Однако наибольшая интенсивность линий спектра характерна для составов с комплексной добавкой, особенно при автоклавной обработке. Для составов без добавок интенсивность линий спектра располагается в следующем убывающем порядке: состав при автоклавировании, состав при нормально-влажностном хранении, состав при автоклавной обработке. Данное явление подтверждается степенью гидратации цемента, где в составе с комплексной добавкой наиболее гидратированным оказывается портландцемент, подвергнутый автоклавной обработке.

На рис. 5 представлены термограммы образцов цементного камня с изучаемой комплексной добавкой. Комплексный термический анализ выполняли на Термоанализаторе SDT Q600 фирмы TA Instruments. Держателем пробы служили платиновые тигли с крышкой, эталоном – прокаленный оксид алюминия. Анализ проводили в среде гелия, который подавали под кварцевый стакан, закрывающий термопару с образцом и эталоном.

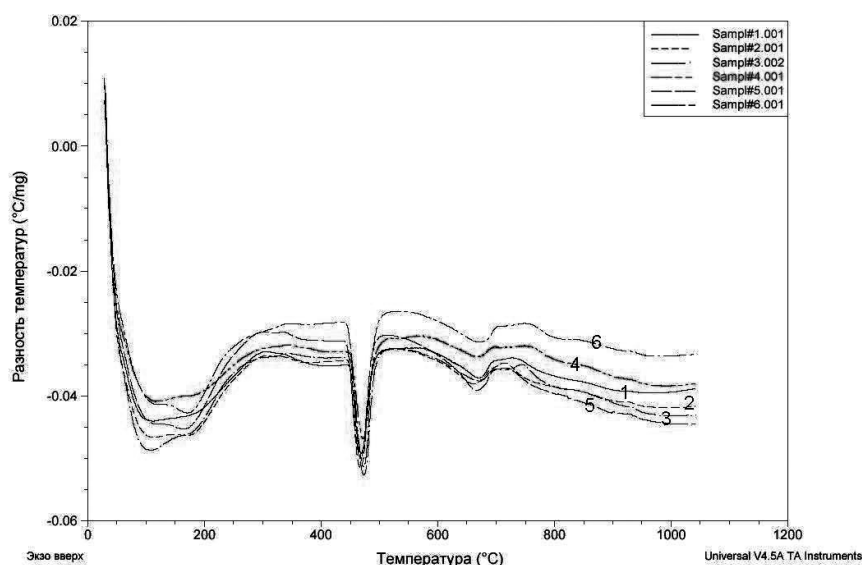


Рис. 5. Термограмма образцов цементного камня, твердевших в различных условиях.  
Усл. обознач. представлены в табл. 2

Первый весьма интенсивный эндоэффект с максимумом при температуре  $110-125\text{ }^{\circ}\text{C}$  отмечен на кривых ДТА образцов, как с добавкой, так и без неё, вызван удалением слабо связанной воды из гелеобразной массы цементного камня. Комплексная добавка способствует более глубокой гидратации силикатной фазы цемента, о чем свидетельствует увеличение эндотермических эффектов при  $110-125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $450-500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $650-700\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Полученные результаты подтверждаются физико-механическими свойствами цементно-песчаного раствора, подвергнутого различным условиям твердения. Так, например, в составе с комплексной добавкой при естественном твердении прочность на сжатие выше на 30 %, при изгибе – на 40 % состава, подвергнутого тепловлажностной обработке, и ниже на 14 % при сжатии, и на 31 % при изгибе состава, подвергнутого автоклавной обработке.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. – М.: Изд-во «Палеотип», 2006. – 243 с.
2. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Влияние добавок ускорителей твердения на свойства тяжелого бетона // Строительные материалы, 2010, № 3. – С. 35-37.
3. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Физико-механические свойства тяжелого бетона, модифицированного новой комплексной добавкой. Прогрессивные технологии в современном машиностроении: сборник статей VI Международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2010. – С. 33-35.