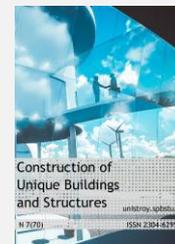




## Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: [www.unistroy.spbstu.ru](http://www.unistroy.spbstu.ru)



doi: 10.18720/CUBS.73.3

### Цементно-волоконистые композиции модифицированные флокулирующими добавками

#### Fiber-cement compositions modified by flocculating additives

Р.Х. Мухаметрахимов <sup>1\*</sup>

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

R. Mukhametrakhimov <sup>1\*</sup>

Kazan State University of Architecture and Engineering, 1 Zelenaya st., Kazan, 420043 Russia

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

строительные материалы;  
модификация бетона;  
цемент;  
фиброцемент;  
целлюлозные волокна;  
дисперсное армирование;  
флокуляция;  
модифицирующие добавки;  
химические добавки;  
полиакриламид

#### KEYWORDS

construction materials;  
concrete modification;  
cement;  
fiber cement;  
cellulose fibers;  
dispersed reinforcement;  
flocculation;  
modifying additives;  
chemical additives;  
polyacrylamide

#### АННОТАЦИЯ

Химические добавки в производстве цементно-волоконистых изделий используются с целью улучшения свойств цементно-волоконистой суспензии и свежеформованных листов, а также ускорения процесса фильтрации и осаждения твердой фазы в рекуператорах. Для улучшения фильтрационных свойств в состав цементно-волоконистых суспензий вводят флокулирующие добавки. Цель исследований – установить влияние степени ионного заряда и молекулярной массы полиакриламида (ПАА) на кинетику гидратации цемента, скорость осаждения цементно-волоконистой суспензии и прочность цементно-волоконистых плит. По результатам первого этапа выполненных экспериментальных исследований установлено, что эффективность осаждения увеличивается с увеличением степени ионного заряда ПАА. На втором этапе определено, что ПАА количестве 0,05-0,15% от массы цемента незначительно увеличивает нормальную густоту (НГ) цементного теста и в зависимости от содержания оказывает примерно одинаковое влияние на его сроки схватывания. Начало схватывания наступает на 54-64 мин позже, а конец схватывания на 16-31 мин раньше состава без добавок. На третьем этапе изучена кинетика гидратации цемента с исследуемыми добавками ПАА. Процесс гидратации цемента изучали путем систематического определения количественного показателя кинетики тепловыделения и контракции портландцемента системы и последующего анализа и изменения его во времени. Достижение температурного максимума на кривых гидратации портландцемента с содержанием ПАА до 0,1% свидетельствует об интенсификации процесса гидратации в начальный период твердения. Увеличение количества ПАА в составе более 0,1% приводит к замедлению процесса гидратации цемента и снижению температурного максимума. Также удельное тепловыделение портландцемента во все сроки гидратации растет с увеличением содержания ПАА до 0,1% и снижается при дальнейшем увеличении его дозировки. В этом отношении оптимальным является содержание 0.5-0.1% для всех марок ПАА. Рост активности и величины удельной контракции портландцемента кривых контракции растет при содержании ПАА до 0,1%. Увеличение количества ПАА в составе более 0,1% приводит к снижению активности в величине удельной контракции. Введение в состав более 0,10 % ПАА затрудняет фильтрационную способность цементно-волоконистой массы при прессовании из-за высокой водоудерживающей способности композиции. На следующем этапе отмечено, что наибольшее увеличение прочности достигается при использовании анионного ПАА Besfloc K4046, отличающейся высокой степенью ионного заряда. Введение данной добавки в цементно-волоконистую смесь в количестве 0,05-0,1% увеличивает прочность на изгиб на 10-15%.

## ABSTRACT

Chemical additives in the production of cement-fiber products are used to improve the properties of cement-fiber suspension and freshly formed sheets, as well as to accelerate the process of filtration and sedimentation of the solid phase in recuperators. To improve the filtration properties, flocculating additives are added to the composition of cement-fiber suspensions. The purpose of research is to establish the influence of the degree of ionic charge and the molecular weight of polyacrylamide (PAA) on the kinetics of cement hydration, the rate of precipitation of cement-fiber suspension and the strength of cement-fiber plates. According to the results of the first stage of the performed experimental studies, it was established that the deposition efficiency increases with an increase in the degree of ionic charge of PAA. At the second stage, it is determined that the amount of PAA from 0.05-0.15% by weight of cement slightly increases the normal density (NG) of the cement paste and, depending on the content, has approximately the same effect on its setting time. The beginning of the setting occurs at 54-64 minutes later, and the end of the setting at 16-31 minutes before the composition without additives. At the third stage, the kinetics of cement hydration with the studied additives of PAA was studied. The process of cement hydration was studied by systematically determining a quantitative indicator of the kinetics of heat release and contraction of the Portland cement system and subsequent analysis and change it over time. The achievement of the temperature maximum on the curves of hydration of Portland cement with the content of PAA up to 0.1% indicates the intensification of the hydration process in the initial period of hardening. The increase in the amount of PAA in the composition of more than 0.1% leads to a slower process of cement hydration and a decrease in the temperature maximum. Also, the specific heat of Portland cement in all periods of hydration increases with increasing content of PAA to 0.1% and decreases with a further increase in its dosage. In this regard, the optimal content is 0.5-0.1% for all brands of PAA. The growth of activity and the value of specific contraction of Portland cement contraction curves increases with the content of PAA to 0.1%. The increase in the number of PAA in the composition of more than 0.1% leads to a decrease in activity in the value of specific contraction. Introduction to the composition of more than 0.10% of PAA hinders the filtration ability of the cement-fibrous mass during pressing due to the high water-holding capacity of the composition. At the next stage, it is noted that the greatest increase in strength is achieved when using anionic PAA Besfloc K4046, which has a high degree of ionic charge. The introduction of this additive in the cement-fiber mixture in the amount of 0.05-0.1% increases the bending strength by 10-15%.

## Содержание

1.	Введение	29
2.	Методы	30
3.	Результаты и обсуждение	31
4.	Заключение	34

## 1. Введение

В материалах на основе цемента большое применение находят различные химические добавки, позволяющие интенсифицировать процесс производства и повысить качество изделий [1–12]. Химические добавки в производстве цементно-волоконных изделий используются с целью улучшения свойств цементно-волоконной суспензии и свежеформованных листов, а также ускорения процесса фильтрации и осаждения твердой фазы в рекуператорах. Для улучшения фильтрационных свойств в состав цементно-волоконных суспензий вводят флокулирующие добавки.

Флокуляция – это общее физико-химическое понятие техники разделения твердой фазы от жидкой. Во время флокуляции происходит образование крупных агрегатов (флоккул), которые под действием силы тяжести быстрее оседают, одновременно повышается механическая прочность флоккул и изменяется пористость осадка. Флокулянты – это водорастворимые высокомолекулярные соединения, которые при введении в дисперсные системы адсорбируются или химически связываются с поверхностью частиц дисперсной фазы и объединяют частицы в агрегаты (флоккулы), способствуя их быстрому осаждению [13].

Флокулирующая добавка представляет собой химическое соединение, которое воздействует на состояние флокуляции водной цементной фазы путем изменения сил, действующих между частицами, существующими в данной системе. Механизм дестабилизирующего действия полимерных флокулянтов заключается в адсорбции растворенных молекул на частичках твердой фазы, обрабатываемой дисперсной системы и образовании, таким образом, механической связи, так называемых «мостиков» между отдельными группами частиц. Возникающие при этом агрегаты твердых частиц называются флокулами, а процесс их образования – мостиковой флокуляцией.

По мнению Рамачандрана [14], главная функция флокулирующих добавок в бетон заключается в снижении интенсивности водоотделения от разрушительной формы (каналы) до более постепенной инфильтрации (нормальной) в смесях, в которых ожидается высокие скорость и объем водоотделения.

Флокулирующие добавки подразделяются на неорганические, природного происхождения и синтетические. В зависимости от характера активных групп флокулянта при диссоциации, либо

поляризации в воде различают флокулянты-полиэлектролиты (ионогенные), которые в свою очередь подразделяются на анионные, катионные и катионо-анионные полиэлектролиты, и неионные (неионогенные) флокулянты [15].

В качестве флокулянтов успешно применяются следующие полиэлектролиты: полиакрилат натрия, сополимер малеинового ангидрида изобутилена, сополимер соли натрия стиролмалеинового ангидрида, полиметакриловая кислота, полиакриламиды (ПАА), полиакрилонитрил, сополимер соли кальция винилацетата малеинового ангидрида, сульфаты алюминия и железа [13,15,16]. Молекулярная масса полимерных флокулянтов (полиакриламид, полиоксиэтилен) колеблется от 50-100 тыс. до 10-12 млн. По молекулярной массе полимерные флокулянты подразделяются на низко- средне- и высоко молекулярные.

Обладая сильно выраженным коагуляционным действием, флокулирующие добавки улучшают структуру цементно-волоконистой дисперсии, что выражается в увеличении степени адгезии цемента [17]. В результате ускоряется фильтрация цементно-волоконистых суспензий, уменьшается унос твердых частиц с отфильтрованной водой, интенсифицируется процесс осаждения твердой фазы из технологичной воды, ускоряется процесс осветления в рекуператорах [18,19]. Кроме того, ПАА является не только флокулянт, но и эффективным связующим. Заряженные положительно за счет амидных и карбоксильных групп молекулы ПАА способствуют связыванию целлюлозных волокон [20], что может оказаться весьма эффективным при производстве цементно-волоконистых изделий на их основе.

Не снижая значимости имеющихся работ связанных с изучением влияния современных минеральных [21–23] и высокомолекулярных химических добавок в первую очередь ПАА на реологические свойства смесей [24,25], кинетику гидратации и формирование структуры цементного камня и раствора [25,26], в том числе армированного целлюлозными [17,27–30] и другими видами волокон [31–34], зависимости структуры и свойств композитов от молекулярной массы ПАА являются малоизученным и представляют значительный интерес для выполнения экспериментальных исследований, с чем связано содержание данной работы.

Цель настоящих исследований – установить влияние степени ионного заряда и молекулярной массы ПАА на кинетику гидратации смешанного вяжущего, скорость осаждения цементно-волоконистой суспензии и прочность цементно-волоконистых плит.

## 2. Методы

### Определение технических характеристик портландцемента

Технические характеристики принятых для исследований портландцементов определяли в соответствии с ГОСТ 310.1-76 [35], ГОСТ 310.3-76 [36], ГОСТ 310.4-81 [37]. Исследования контракции портландцемента и прогноз его активности определяли по методикам измерения МИ 2486-98 и МИ 2487-98 при помощи контракциометрического тестера активности цемента «Цемент-прогноз». Исследование кинетики тепловыделения при гидратации портландцемента проводили термосным методом с использованием измерительного комплекса «Термохрон Ревизор DS1921» с частотой регистрации температуры 15 минут. Удельная поверхность и дисперсность цемента и наполнителей определялась на приборе ПСХ.

### Изготовление, твердение и испытание образцов цементно-волоконистых плит (ЦВП)

Изготовление образцов ЦВП состоит из следующих технологических операций [38,39]: роспуск целлюлозных волокон в дезинтеграторе в соответствии с ГОСТ 14363.4-89 [40], смешение их с минеральными наполнителями (молотым кварцевым песком), цементом и водой. Формование изделий состоит в отфильтровании воды из цементно-волоконистой массы до необходимого уплотнения и придания заданной формы и размеров (220x100x8мм). Далее сформованные образцы подвергали прессованию по стандартному режиму: удельное давление прессования – 600 Н/см<sup>2</sup>, скорость подъема удельного давления – 8 мм/мин, время выдержки под максимальным давлением – 10 мин.

Твердение ЦВП осуществляли в две стадии: предварительное твердение и окончательное. Предварительное твердение изделий после выдержки при нормальных условиях в течение 2 часов осуществляли в пропарочной камере при температуре 60-65°C, при относительной влажности не менее 80-90% в течение 8 часов. Окончательное твердение изделий производили в автоклаве при давлении пара 0,8-1МПа и температуре 155-165°C в течение 14 часов.

Изготовленные образцы ЦВП, подвергали контролю внешнего вида, линейных размеров и формы. Испытания ЦВП на предел прочности при изгибе и определение средней плотности осуществляли в соответствии с ГОСТ 8747-88 [41].

**Примененные материалы**

а) вяжущие:

- портландцемент Вольского цементного завода марки ПЦ500-Д0-Н;
- портландцемент Ульяновского цементного завода марки ПЦ400-Д20;

б) наполнитель – молотый кварцевый песок камского месторождения удельной поверхностью 310 м<sup>2</sup>/кг.

в) целлюлозные волокна марки НСК, производства ОАО «Соломбальский ЦБК», СТО 00279189-2-2007, размолотые до 30-35 °ШР.

г) водопроводная питьевая вода, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732-2011 [42].

д) флокулирующие добавки представляющие собой порошок белого цвета растворимый в воде (технические данные приведены в таблице 1):

- полиакриламид Besfloc производства «KOLON LIFE SCIENCE, INC.» (Южная Корея);
- полиакриламид Nalco 9601 Pulv производства «Nalco Company».

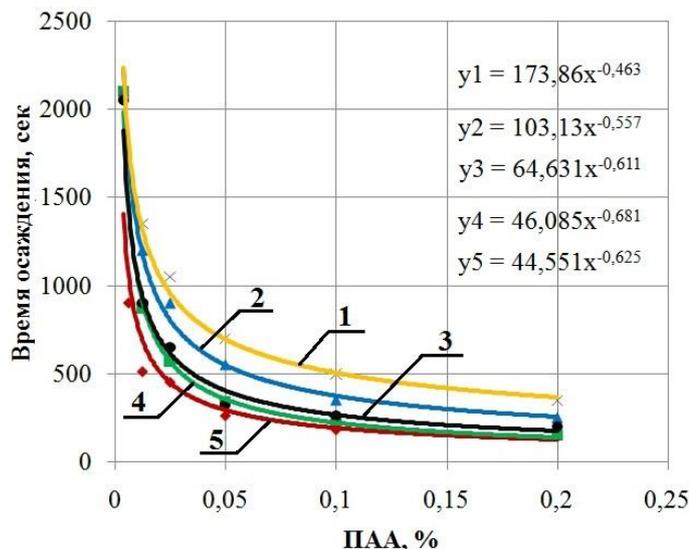
**Таблица 1. Технические данные флокулирующих добавок ПАА принятых для исследований**

№	Марка	Ионный заряд	Молекулярная масса, млн. аем	Степень ионного заряда	Вязкость 0,2% раствора при 25°С, спз	pH 0,1% раствора
1	BESFLOC K4000	Неионогенный	0,9	Нейтральный	100*	6,5
2	BESFLOC K4032	Анионный	3,5	Очень низкий	160	6,7
3	BESFLOC K4034	Анионный	7	Низкий	310	6,7
4	BESFLOC K4041	Анионный	12	Средний	380	6,8
5	BESFLOC K4046	Анионный	35	Высокий	550	6,9
6	Nalco 9601 Pulv	Анионный	35	Высокий	570	6,9

Примечание: \* - вязкость 0,5% раствора. При работе с ПАА из-за высокой вязкости готовили 0,1 % рабочий раствор, который использовали при дальнейших исследованиях.

### 3. Результаты и обсуждение

По результатам первого этапа выполненных экспериментальных исследований установлено, что флокулирующие добавки ПАА оказывают существенное влияние на скорость осаждения цементно-волоконистой суспензии (рис. 1). При этом эффективность осаждения увеличивается с увеличением степени ионного заряда. Наиболее эффективной из рассматриваемых добавок ПАА является «Besfloc K4046», в количестве 0,05 % от массы цемента. Добавка ПАА введенная в цементно-волоконистую суспензию в количестве 0,05 % от массы цемента способствует ускорению оседания частиц в 8 раз. Это способствует ускорению фильтрации цементно-волоконистых суспензий, уменьшению уноса твердых частиц с отфильтрованной водой, интенсификации процесса осаждения твердой фазы из технологичной воды, ускорению процесса осветления в рекуператорах.



**Рисунок 1. Влияние добавок ПАА на время осаждения цементно-волокнистой суспензии: 1-Besfloc K4000; 2-Besfloc K4032; 3-Besfloc K4041; 4-Nalco9601; 5-Besfloc K4046**

На втором этапе исследовано влияние добавок ПАА на нормальную густоту (НГ) и сроки схватывания цементного теста (таблица 2).

**Таблица 2. Влияние добавок ПАА на НГ и сроки схватывания цементного теста**

Вид добавки	Содержание добавки, %	НГ	Сроки схватывания, мин	
			начало	конец
-	-	25,5	176	331
Besfloc K4000	0,05	25,55	215	290
	0,1	25,63	230	300
	0,15	25,75	230	310
Besfloc K4032	0,05	25,55	215	290
	0,1	25,63	230	300
	0,15	25,75	230	310
Besfloc K4034	0,05	25,55	215	290
	0,1	25,63	230	300
	0,15	25,75	230	310
Besfloc K4041	0,01	25,55	215	290
	0,0015	25,63	230	300
	0,03	25,75	230	310
	0,05	25,55	215	290
Besfloc K4046	0,05	25,63	230	300
	0,1	25,75	230	310
	0,15	25,95	235	310
Nalco 9601 Pulv	0,05	25,55	215	290
	0,1	25,63	230	300
	0,15	25,75	230	310

**Примечание: исследования выполнены на ПЦ Вольского цементного завода марки ПЦ500-Д0-Н;**

Как видно из табл. 2, добавка ПАА в количестве 0,05-0,15% от массы цемента незначительно увеличивает НГ цементного теста и в зависимости от содержания оказывает примерно одинаковое влияние на его сроки схватывания. Так, начало схватывания наступает на 54-64 мин позже, а конец схватывания на 16-31 мин раньше состава без добавок.

На третьем этапе изучена кинетика гидратации цемента с исследуемыми добавками ПАА. Процесс гидратации изучали путем систематического определения количественного показателя кинетики тепловыделения и контракции портландцемента системы и последующего анализа и изменения его во времени. Результаты расчета удельного количества выделившегося тепла при гидратации цемента в термосном калориметре и контракция цемента с добавками ПАА приведены в таблице 3.

Таблица 3. Влияние ПАА на тепловыделение и контракцию ПЦ

Марка добавки ПАА	Содержание добавки, %	Удельное тепловыделение, (кал/г)/%	$t_{\max}$ , °С	$T_{\max}$ , мин	Контракция, см <sup>3</sup> /г
–	-	64/100	67,0	750	2,83
BESFLOC K4000	0,05	78/122	72,0	825	2,97
	0,10	80/124	74,5	825	2,33
	0,15	72/113	69,5	810	2,15
BESFLOC K4032	0,05	80/125	73,0	855	2,85
	0,10	79/124	74,0	900	2,59
	0,15	77/120	73,0	795	2,1
BESFLOC K4034	0,05	64/100	67,0	795	2,84
	0,10	79/123	70,5	765	2,71
	0,15	74/116	68,0	855	2,02
BESFLOC K4041	0,05	78/122	70,5	795	2,85
	0,10	98/153	76,0	945	2,7
	0,15	80/124	73,0	840	2,32
BESFLOC K4046	0,05	72/112	70,0	780	3,05
	0,10	83,2/133	73,5	1035	2,82
	0,15	72/112	69,5	975	2,41
NALCO 9601	0,05	81/126	71,5	900	2,83
	0,10	80/124	71,5	915	2,68
	0,15	79/123	70,5	810	2,01

Примечание:  $t_{\max}$  – максимальное значение температуры;  $T_{\max}$  – время достижения  $t_{\max}$ , мин.

Полученные результаты тепловыделения при гидратации свидетельствуют, что введение ПАА в цементное тесто, в зависимости от концентрации оказывает различное влияние на ход и кинетику гидратации портландцемента. Достижение температурного максимума на кривых гидратации портландцемента с содержанием ПАА до 0,1% свидетельствует об интенсификации процесса гидратации в начальный период твердения. Увеличение количества ПАА в составе более 0,1% приводит к замедлению процесса гидратации цемента и снижению температурного максимума. Также удельное тепловыделение портландцемента во все сроки гидратации растет с увеличением содержания ПАА до 0,1% и снижается при дальнейшем увеличении его дозировки. В этом отношении оптимальным является содержание 0.5-0.1% для всех марок ПАА.

Исследования контракции показали, что введение ПАА в цементное тесто, в зависимости степени ионного заряда, молекулярной массы и концентрации оказывает примерно одинаковое влияние на контракцию и активность портландцемента. Рост активности и величины удельной контракции портландцемента кривых контракции растет при содержании ПАА до 0,1%. Увеличение количества ПАА в составе более 0,1% приводит к снижению активности в величине удельной контракции.

На следующем этапе выполнены исследования влияния добавок ПАА на предел прочности при изгибе ЦВП. Содержание компонентов сырьевой смеси принято с учетом результатов ранее выполненных исследований [38,43]. В ходе экспериментальных исследований отмечено, что введение в состав более 0,10 % ПАА затрудняет фильтрационную способность цементно-волоконистой массы при прессовании из-за высокой водоудерживающей способности композиции. Зависимости относительного предела прочности при изгибе ЦВП на основе модифицированного смешанного вяжущего от количества добавки ПАА приведены в табл. 4.

Таблица 4. Влияние добавок ПАА на предел прочности при изгибе ЦВП

Марка добавки ПАА	Содержание добавки, %	Ср. плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность на изгиб ЦВП, (МПа) на основе следующих цементов*:	
			ПЦ500-Д0-Н	ПЦ400-Д20;
–	-	1,59	14,0	12,0
BESFLOC K4000	0,05	1,59	14,4	12,4
	0,10	1,60	14,6	13,0
	0,15	1,55	11,2	9,3
BESFLOC K4032	0,05	1,59	14,8	12,9
	0,10	1,60	15,3	13,5
	0,15	1,55	11,5	9,6
BESFLOC K4034	0,05	1,59	15,0	13,2
	0,10	1,60	15,5	13,7
	0,15	1,55	11,6	9,8
BESFLOC K4041	0,05	1,59	15,2	13,4
	0,10	1,60	15,7	13,8
	0,15	1,55	11,8	10,0
BESFLOC K4046	0,05	1,59	15,4	13,6
	0,10	1,60	16,1	14,4
	0,15	1,55	12,3	10,6
NALCO 9601	0,05	1,59	15,0	13,3
	0,10	1,60	15,7	14,0
	0,15	1,55	12,0	10,2

Как видно из табл. 4 наиболее эффективной из исследуемых добавок является ПАА Besfloc K4046, отличающейся высокой степенью ионного заряда. Введение которой в цементно-волоконистую смесь в количестве 0,05-0,1% увеличивает прочность на изгиб на 10-15%.

#### 4. Заключение

По результатам выполненных исследований:

1. Установлено влияние степени ионного заряда и молекулярной массы ПАА на кинетику гидратации смешанного вяжущего и скорость осаждения цементно-волоконистой суспензии. Показано, что применение ПАА способствует интенсификации процесса разделения фаз, что повышает технологичность производства ЦВП на основе целлюлозных волокон.

2. Исследования тепловыделения свидетельствуют, что введение ПАА в цементное тесто, в зависимости от концентрации оказывает различное влияние на ход и кинетику гидратации портландцемента. Достижение температурного максимума на кривых гидратации портландцемента с содержанием ПАА до 0,1% свидетельствует об интенсификации процесса гидратации в начальный период твердения. Увеличение количества ПАА в составе более 0,1% приводит к замедлению процесса гидратации цемента и снижению температурного максимума. Также удельное тепловыделение портландцемента во все сроки гидратации растет с увеличением содержания ПАА до 0,1% и снижается при дальнейшем увеличении его дозировки. В этом отношении оптимальным является содержание 0,5-0,1% для всех марок ПАА.

3. Изучение контракции свидетельствует, что введение ПАА в цементное тесто, в зависимости степени ионного заряда, молекулярной массы и концентрации оказывает примерно одинаковое влияние на контракцию и активность портландцемента. Рост активности и величины удельной контракции портландцемента кривых контракции растет при содержании ПАА до 0,1%. Увеличение количества ПАА в составе более 0,1% приводит к снижению активности в величине удельной контракции. Кроме того, введение в состав более 0,10 % ПАА затрудняет фильтрационную способность цементно-волоконистой массы при прессовании из-за высокой водоудерживающей способности композиции.

4. Установлено, что с увеличением степени ионного заряда и молекулярной массы анионного ПАА происходит ускорение процесса гидратации смешанного вяжущего, увеличение скорости осаждения цементно-волоконистой суспензии и повышение предела прочности при изгибе ФЦП. Наиболее

эффективной флокулирующей добавкой из числа изученных, является полиакриламид «Besfloc K4046», отличающийся высокой степенью ионного заряда. Введение данного типа ПАА в количестве 0,05-0,10 % улучшает структуру цементно-волоконистой суспензии, что выражается в увеличении предела прочности при изгибе ЦВП на 15%

## Литература

- [1]. Изотов, В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. Москва: Палеотип, 2006. 244 p.
- [2]. Калашников, В.И., Тараканов О.В. О применении комплексных добавок в бетонах нового поколения // Строительные материалы. 2017. № 1–2. P. 62–67.
- [3]. Toutanji H. et al. Using aggregate flowability testing to predict lightweight self-consolidating concrete plastic properties // Cem. Concr. Compos. Elsevier, 2015. Vol. 62. P. 59–66.
- [4]. Nagrockiene D., Pundienė I., Kicaite A. The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties // Constr. Build. Mater. Elsevier, 2013. Vol. 45. P. 324–331.
- [5]. Smirnova O.M. Compatibility of portland cement and polycarboxylate-based superplasticizers in high-strength concrete for precast constructions // Mag. Civ. Eng. 2016. Vol. 66, № 6. P. 12–22.
- [6]. Cherkashin, A V, Pykhtin, K A, Begich, Y E, Sherstobitova, P A, Koltsova T.S. Mechanical properties of nanocarbon modified cement // Mag. Civ. Eng. 2017. № 4. P. 54–61.
- [7]. Гувалов, А.А., Аббасова, С.И., Кузнецова Т.В. Эффективность модификаторов в регулировании свойств бетонных смесей // Строительные материалы. 2017. № 7. P. 49–51.
- [8]. Bołtryk M., Krupa A., Pawluczuk E. Modification of the properties of the cement composites with the organic filler // Constr. Build. Mater. Elsevier, 2018. Vol. 167. P. 143–153.
- [9]. She W. et al. Biomimetic superhydrophobic surface of concrete: Topographic and chemical modification assembly by direct spray // Constr. Build. Mater. Elsevier, 2018. Vol. 181. P. 347–357.
- [10]. Chen G. et al. A polycarboxylate as a superplasticizer for montmorillonite clay in cement: Adsorption and tolerance studies // Arab. J. Chem. Elsevier, 2018. Vol. 11, № 6. P. 747–755.
- [11]. Schuldyakov K.V., Kramar L.Y., Trofimov B.Y. Interconnection between Concrete Structure and Properties and Various Modifications // Procedia Eng. Elsevier, 2017. Vol. 206. P. 863–868.
- [12]. Khan M., Ali M. Effect of super plasticizer on the properties of medium strength concrete prepared with coconut fiber // Constr. Build. Mater. Elsevier, 2018. Vol. 182. P. 703–715.
- [13]. Куренков В.Ф. Полиакриламидные флокулянты // Статьи Соросовского Образовательного журнала. 1997.
- [14]. Рамачандран В.С. Добавки в бетон. Справочное пособие. Москва: Стройиздат, 1988. 571 p.
- [15]. Небера В.П. Флокуляция минеральных суспензий. Москва: Недра, 1983. 288 p.
- [16]. Васильева Е.И. Исследование влияния флокулирующего действия полиакриламида с целью повышения удержания наполнителей в бумаге // автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ленинград, 1972. P. 20.
- [17]. Negro C. et al. Polyacrylamide induced flocculation of a cement suspension // Chem. Eng. Sci. Pergamon, 2006. Vol. 61, № 8. P. 2522–2532.

## References

- [1]. Izotov, V.S., Sokolova Yu.A. Khimicheskiye dobavki dlya modifikatsii betona. Moskva: Paleotip, 2006. 244 p.
- [2]. Kalashnikov, V.I., Tarakanov O.V. O primenenii kompleksnykh dobavok v betonakh novogo pokoleniya // Stroitelnyye materialy. 2017. № 1–2. P. 62–67.
- [3]. Toutanji H. et al. Using aggregate flowability testing to predict lightweight self-consolidating concrete plastic properties // Cem. Concr. Compos. Elsevier, 2015. Vol. 62. P. 59–66.
- [4]. Nagrockiene D., Pundienė I., Kicaite A. The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties // Constr. Build. Mater. Elsevier, 2013. Vol. 45. P. 324–331.
- [5]. Smirnova O.M. Compatibility of portland cement and polycarboxylate-based superplasticizers in high-strength concrete for precast constructions // Mag. Civ. Eng. 2016. Vol. 66, № 6. P. 12–22.
- [6]. Cherkashin, A V, Pykhtin, K A, Begich, Y E, Sherstobitova, P A, Koltsova T.S. Mechanical properties of nanocarbon modified cement // Mag. Civ. Eng. 2017. № 4. P. 54–61.
- [7]. Guvalov, A.A., Abbasova, S.I., Kuznetsova T.V. Effektivnost modifikatorov v regulirovanii svoystv betonnykh smesey // Stroitelnyye materialy. 2017. № 7. P. 49–51.
- [8]. Bołtryk M., Krupa A., Pawluczuk E. Modification of the properties of the cement composites with the organic filler // Constr. Build. Mater. Elsevier, 2018. Vol. 167. P. 143–153.
- [9]. She W. et al. Biomimetic superhydrophobic surface of concrete: Topographic and chemical modification assembly by direct spray // Constr. Build. Mater. Elsevier, 2018. Vol. 181. P. 347–357.
- [10]. Chen G. et al. A polycarboxylate as a superplasticizer for montmorillonite clay in cement: Adsorption and tolerance studies // Arab. J. Chem. Elsevier, 2018. Vol. 11, № 6. P. 747–755.
- [11]. Schuldyakov K.V., Kramar L.Y., Trofimov B.Y. Interconnection between Concrete Structure and Properties and Various Modifications // Procedia Eng. Elsevier, 2017. Vol. 206. P. 863–868.
- [12]. Khan M., Ali M. Effect of super plasticizer on the properties of medium strength concrete prepared with coconut fiber // Constr. Build. Mater. Elsevier, 2018. Vol. 182. P. 703–715.
- [13]. Kurenkov V.F. Poliakrilamidnyye flokulyanty // Stati Sorosovskogo Obrazovatel'nogo zhurnala. 1997.
- [14]. Ramachandran V.S. Dobavki v beton. Spravochnoye posobiye. Moskva: Stroyizdat, 1988. 571 p.
- [15]. Nebera V.P. Flokulyatsiya mineralnykh suspenziy. Moskva: Nedra, 1983. 288 p.
- [16]. Vasilyeva Ye.I. Issledovaniye vliyaniya flokuliruyushchego deystviya poliakrilamida s tselyu povysheniya uderzhaniya napolniteley v bumage // avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Leningrad, 1972. P. 20.
- [17]. Negro C. et al. Polyacrylamide induced flocculation of a cement suspension // Chem. Eng. Sci. Pergamon, 2006. Vol. 61, № 8. P. 2522–2532.
- [18]. Berney I.I. Tekhnologiya asbestotsementnykh izdeliy. Moskva: Stroyizdat, 1985. 400 p.
- [19]. Kireyeva Yu.I. Stroitelnyye materialy. Moskva: Novoye znaniye, 2006. 400 p.
- [20]. Komarov, V.I., Kuznetsova M.Yu. Vliyaniye raskhoda

- Vol. 61, № 8. P. 2522–2532.
- [18]. Берней И.И. Технология асбестоцементных изделий. Москва: Стройиздат, 1985. 400 р.
- [19]. Киреева Ю.И. Строительные материалы. Москва: Новое знание, 2006. 400 р.
- [20]. Комаров, В.И., Кузнецова М.Ю. Влияние расхода катионного полиакриламида в кислой и щелочной средах на вязкоупругие свойства бумаги // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2001. № 4. P. 86–97.
- [21]. Мухаметрахимов Р.Х., Изотов В.С. Влияние активных минеральных добавок на гидратацию вяжущего и физико-механические свойства фиброцементных плит // Известия КГАСУ. 2011. № 2 (16). P. 213–217.
- [22]. Mukhametrakhimov R., Galautdinov A., Lukmanova L. Influence of active mineral additives on the basic properties of the gypsum cementpozzolan binder for the manufacture of building products // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 106.
- [23]. Khaliullin, M.I. Fayzrakhmanov I.I. Vliyaniye molotogo izvestnyaka na svoystva kompozitsionnogo gipsovogo vyazhushchego s primeneniym termoaktivirovannoy gliny v kachestve putstsolanovogo komponenta // Известия КГАСУ. 2018. № 3 (45). P. 203–209.
- [24]. Bessaies-Bey H. et al. Effect of polyacrylamide on rheology of fresh cement pastes // Cem. Concr. Res. Pergamon, 2015. Vol. 76. P. 98–106.
- [25]. Калимуллин, А.А. Назипова, Ф.В. Богданов Р.Р. Модифицирование цементно-стружечных плит путем введения гиперпластификаторов // Деревообрабатывающая промышленность. 2017. № 4. P. 27–34.
- [26]. Rai U.S., Singh R.K. Effect of polyacrylamide on the different properties of cement and mortar // Mater. Sci. Eng. A. Elsevier, 2005. Vol. 392, № 1–2. P. 42–50.
- [27]. Teixeira R.S. et al. Nanoindentation study of the interfacial zone between cellulose fiber and cement matrix in extruded composites // Cem. Concr. Compos. Elsevier, 2018. Vol. 85. P. 1–8.
- [28]. Blanco A. et al. Optimal use of flocculants on the manufacture of fibre cement materials by the Hatschek process // Constr. Build. Mater. Elsevier, 2010. Vol. 24, № 2. P. 158–164.
- [29]. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Features of the hydration process of the modified blended cement for fiber cement panels // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 170.
- [30]. Izotov, V.S. Mukhametrakhimov R.Kh. Osobennosti protsessa gidratatsii modifitsirovannogo smeshannogo vyazhushchego dlya fibrotsementnykh плит // Stroitelnyye materialy. 2014. № 1–2. P. 116.
- [31]. Khezhev, T.A., Zhurtov, A.V., Tspinov, A.S., Klyuyev S.V. Ognезashchitnyye fibrovermikulitobetonny s vulkanicheskimi dobavkami // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2017. Vol. 4, № 80. P. 181–194.
- [32]. Bushmanova, A.V., Kharchenko, D.K., Semenov, K.V., Barabanshchikov, Yu.G., Korovina, V.K. D.A.V. Termicheskaya treshchinostoykost massivnykh stalezhelezobetonnykh konstruksiy // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2018. Vol. 7, № 79. P. 45–53.
- [33]. Klyuyev, S.V., Klyuyev, A.V., Abakarov, A.D., Shorstova, Ye.S., Gafarova N.Ye. Vliyaniye dispersnogo armirovaniya na prochnostnyye i deformativnyye kharakteristiki melkozernistogo betona // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2017. Vol. 7, № 75. P. 66–75.
- [34]. Izotov, V.S., Mukhametrakhimov, R.Kh., Sabitov L.S. Eksperimentalnyye issledovaniya effektivnosti dispersnogo armirovaniya rastyantoy zony betonnykh izgibayemykh elementov // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. 2010. Vol. 1, № 17. P. 119–125.
- [35]. GOST 310.1-76 Tsementy. Metody ispytaniy. Obshchiye polozheniya.
- [36]. GOST 310.3-76 Tsementy. Metody opredeleniya normalnoy gustoty, srokov skhvatyvaniya i ravnomernosti izmeneniya obyema.
- [37]. GOST 310.4-81 Tsementy. Metody opredeleniya predela

- дисперсного армирования растянутой зоны бетонных изгибаемых элементов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2010. Vol. 1, № 17. P. 119–125.
- [35]. ГОСТ 310.1-76 Цементы. Методы испытаний. Общие положения.
- [36]. ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема.
- [37]. ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии.
- [38]. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. The Modified Fiber Cement Panels for Civil Construction // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. Vol. 692.
- [39]. Мухаметрахимов Р.Х. Технология изготовления и организация производства цементно-волоконистых плит // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2016. Vol. 2, № 36. P. 241–246.
- [40]. ГОСТ 14363.4-89 (ИСО 5264-3-79, ИСО 5269-2-80) Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям.
- [41]. ГОСТ 8747-88 Изделия асбестоцементные листовые. Методы испытаний.
- [42]. ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия.
- [43]. Изотов, В.С. Мухаметрахимов Р.Х. Влияние тонкости помола кварцевого песка на физико-технические свойства автоклавированных фиброцементных плит // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. № (10) 177. P. 20–21.
- prochnosti pri izgibe i szhatii.
- [38]. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. The Modified Fiber Cement Panels for Civil Construction // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. Vol. 692.
- [39]. Mukhametrakhimov R.Kh. Tekhnologiya izgotovleniya i organizatsiya proizvodstva tsementno-voлокнистых плит // Izvestiya VUZov. Lesnoy zhurnal. 2016. Vol. 2, № 36. P. 241–246.
- [40]. GOST 14363.4-89 (ISO 5264-3-79, ISO 5269-2-80) Tsellyuloza. Metod podgotovki prob k fiziko-mekhanicheskim ispytaniyam.
- [41]. GOST 8747-88 Izdeliya asbestotsementnyye listovyye. Metody ispytaniy.
- [42]. GOST 23732-2011 Voda dlya betonov i stroitelnykh rastvorov. Tekhnicheskiye usloviya.
- [43]. Izotov, V.S. Mukhametrakhimov R.Kh. Vliyaniye tonkosti pomola kvartsevogo peska na fiziko-tekhicheskiye svoystva avtoklavirovannykh fibrotsementnykh плит // Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. 2013. № (10) 177. P. 20–21.

---

#### Контактная информация

1.\* +79196994422, muhametrahimov@mail.ru  
(Мухаметрахимов Рустем Ханифович, к.т.н., доцент)

#### Contact information

1.\* +79196994422, muhametrahimov@mail.ru  
(Mukhametrakhimov Rustem, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor)

---

© Мухаметрахимов Р.Х., 2018