



УДК 691.32

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК ДЛЯ  
ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА С ЦЕЛЮ СОКРАЩЕНИЯ СРОКОВ ПРОИЗВОДСТВА  
БЕТОННЫХ РАБОТ**

Е.М. Ратц, И.Н. Хряпченкова

**ON THE EFFECTIVENESS OF CHEMICAL ADDITIVES TO HEAVY-WEIGHT  
CONCRETE FOR SHORTENING THE CONCRETE WORKS PERIOD**

E.M. Ratz, I.N. Khriapchenkova

**Аннотация:** Авторы сообщают о результатах исследования химических добавок для тяжелых бетонных смесей – ускорителей твердения, суперпластификаторов и гиперпластификаторов, добавок комплексного действия. Методика исследования основана на определении сохранности подвижности бетонных смесей через заданные промежутки времени и анализа суммарного тепловыделения цементов в процессе их гидратации. Калориметрические исследования твердения портландцемента позволяют определить зависимость скорости набора прочности бетона от вида и дозировки применяемых химических добавок.

**Ключевые слова:** химические добавки; изотермические измерения; сравнительный анализ; суммарное тепловыделение цементов.

**Abstract:** This article reports on the investigating results of chemical additives to heavy-weight concrete. These additives are: curing accelerators, super-plasticizing and hyper-plasticizing agents, integrative ones. The investigating method, firstly, determinates the slump retention of concrete mix vs. time. Secondly, it determinates heat liberation during cement hydration. Calorimetric investigation of concrete hardening allow ascertaining relation between development of concrete strength and chemical additives type and portion.

**Keywords:** chemical additives; isothermal measuring; comparative analysis; summary heat liberation.

**Введение**

В современном монолитном строительстве при бетонировании бетонных и железобетонных конструкций зачастую возникает необходимость ускорить рост прочности уложенного бетона с целью сокращения сроков его выдержки перед распалубливанием для последующего ускорения строительного процесса. Для достижения поставленной цели эффективно использование современных химических добавок для тяжелого бетона - ускорителей схватывания бетонных смесей и твердения бетона, а также пластифицирующих добавок.

В результате проведенного анализа современной нормативной базы, в частности ГОСТ [1-2], были выявлены недостатки существующих методик определения эффективности действия добавок, такие как отсутствие методов оперативного контроля эффективности применяемых добавок и длительность испытаний по контролю прочности бетона в проектном возрасте.

Также следует отметить ряд проблем, возникающих на строительной площадке:

- Потеря подвижности бетонной смеси;
- Увеличение сроков набора прочности ввиду климатических условий;
- Появление трещин ввиду усадки или повышенного тепловыделения бетона

Приведенные аргументы послужили мотивом для проведения исследования с целью выявления наиболее эффективных химических добавок к тяжелому бетону из представленных на российском рынке (табл.1)

Таблица 1 – Добавки, выбранные для исследования

№	Название	Тип	Производитель	Рекомендуемая дозировка	Основное свойство
1	Centrament Rapid 680	жидкость	МС-Vauchemie	0,5-2,0%	Пластификатор с ускоряющим эффектом
2	Релаксол	Жидкость (р-р 33,5%)	Полипласт	0,5-1,5%	Ускоритель
3	Weiss Rapid	Порошок	Weiss Reagens	0,1-2,5%	Ускоритель
4	Формиат Са	Порошок	Еврохим-1	1,0-1,5%	Ускоритель
5	Muraplast FK 48	Жидкость	МС-Vauchemie	0,2-2,0%	Суперпластификатор
6	Muraplast FK 63	Жидкость	МС-Vauchemie	0,2-2,5%	Гиперпластификатор
7	Reamin MF-100	Порошок	Кубань Полимер	0,3-1,0%	Суперпластификатор
8	Reomax PC-750	Порошок	Кубань Полимер	0,2-0,8	Гиперпластификатор
9	Weiss SM	Порошок	Weiss Reagens	0,2-0,8	Суперпластификатор
10	Полипласт СП-1	Порошок	ООО «Полипласт-Уралсиб»	0,4-0,8%	Суперпластификатор
11	ГПМ Ж	Жидкость	ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева	0,85%	Комплексного действия
12	ГПМ	Порошок	ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева	6,25%	Комплексного действия

В основу методики проведения исследования положено определение сохранности подвижности через заданные промежутки времени и прогнозирование прочности на основе кратковременного измерения контракции цемента.

Для изотермических измерений тепловых эффектов при гидратации цементных смесей с высокой стабильностью и точностью использовался изотермический калориметр ТАМ AIR фирмы TA Instruments (рис.1). Прибор специально оптимизирован для задач изучения и разработки новых композиций в цементной и железобетонной промышленности [3].

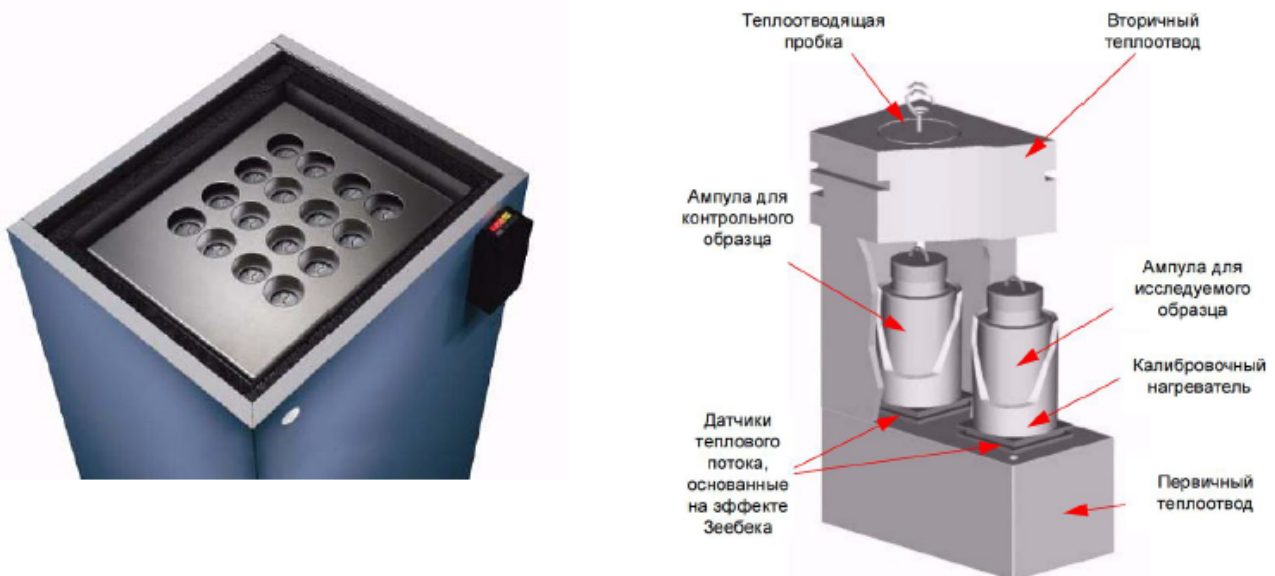


Рисунок 1 - Изотермический калориметр ТАМ AIR TA Instruments

В результате изотермических измерений тепловых эффектов при гидратации цементных смесей были получены графики тепловых потоков гидратации цемента и интегральный суммарного тепловыделения (рис. 2, рис. 3).

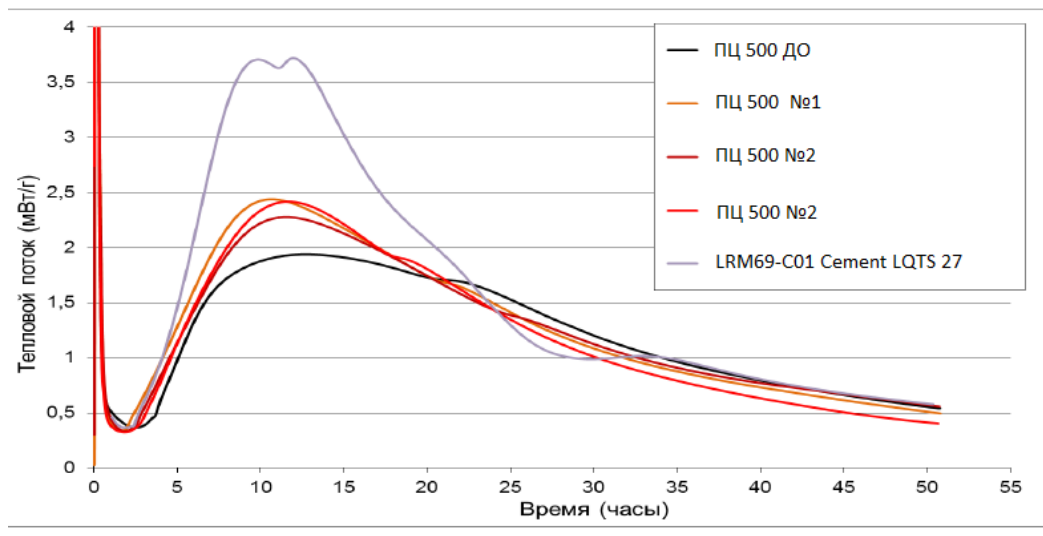


Рисунок 2 - Тепловой поток гидратации цемента с различным фазовым составом

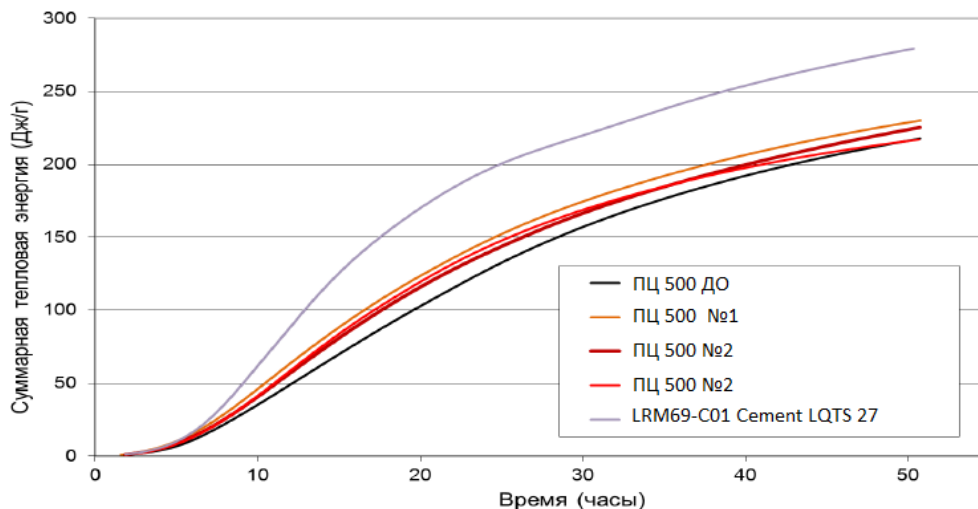
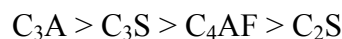


Рисунок 3 - Интегральный график суммарных тепловыделений

Минералогический состав цемента является важным фактором, определяющим тепловыделение. По интенсивности развития тепловыделения, минералы, входящие в состав цемента, располагаются в ряд:



Применение портландцементов с нестабильным минералогическим составом позволяет достоверно учитывать тепловыделение в бетонных конструкциях для расчета их термонапряженного состояния и может существенно замедлить сроки возведения бетонных конструкций [4].

Цементы, выбранные в качестве вяжущего в исследовании приведены в табл.2.

Значительный эффект от применения добавок-ускорителей (табл.3) имеет место как при бетонировании монолитных конструкций, так и в технологии производства сборного бетона и железобетона. Сокращение сроков схватывания цемента и интенсификация его

твердения актуальны как для бетонов нормально-влажностного твердения, так и подвергаемых тепло-влажностной обработке, причем не только для бетонов на плотных, но и на пористых заполнителях.

Таблица 2 – Цементы, использованные в экспериментальном исследовании

Образец цемента	Фазы клинкера				Гипс CaS O <sub>4</sub> x 2H <sub>2</sub> O	Примеси				
	C3S (белит)	C2S (бета)	C3 A	C4A F		CaMg( CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Полевые шпаты			a-SiO <sub>2</sub>
							CaAl <sub>2</sub> Si 2O <sub>8</sub>	KAl Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	NaAl Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	
LRM69-CO1 Cement 01 LQTS	53,9 %	16,3 %	9,2 %	12,9 %	1,0%	2,2%	2,0%	0,2%	-	-
ПЦ 500 ДО (ОАО Вольскцемент)	62,0 %	10,7 %	4,4 %	14,9 %	1,9%	-	3,7%	-	0,1%	-
ПЦ 500 №1 (ОАО Новоросцемент)	62,8 %	12,7 %	6,9 %	11,4 %	-	-	-	-	1,3%	-
ПЦ 500 №2 (ОАО Новоросцемент)	57,9 %	14,2 %	5,9 %	12,6 %	-	-	3,1%	-	-	-
ПЦ 500 №3 (ОАО Новоросцемент)	53,8 %	24,6 %	3,9 %	14,1 %	-	-	-	-	-	0,6%

Действие добавок-ускорителей схватывания и твердения бетона заключается в активизации процесса гидратации цемента, приводящей к ускоренному образованию гелей, которые захватывают в свои ячейки большое количество жидкой фазы и вследствие этого вызывают быстрое схватывание и последующее интенсивное упрочнение цементного камня

Таблица 3 – Добавки-ускорители, используемые в исследовании

№	Название	Тип	Производитель	Применяемая дозировка	Основное свойство
1	Centrament Rapid 680	Жидкость	МС-Bauchemie	1%	Пластификатор с ускоряющим эффектом
2	Релаксон	Жидкость (р-р 33,5%)	Полипласт	3%	Ускоритель
3	Weiss Rapid	Порошок	Weiss Reagens	0,5%/1,0%/1,5%	Ускоритель
4	Формиат Са	Порошок	Еврохим-1	0,5%/1,0%	Ускоритель

В результате изотермических измерений тепловых эффектов при гидратации цемента с добавками-ускорителями твердения были получены графики тепловых потоков гидратации и интегральный суммарного тепловыделения (рис. 4, рис. 5).

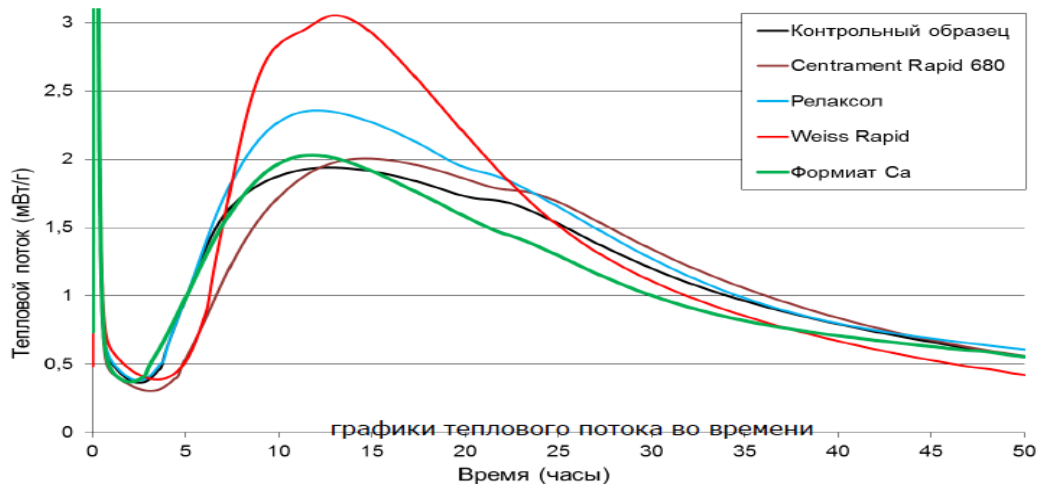


Рисунок 4 - Тепловой поток гидратации цемента ПЦ 500 №1 с добавками-ускорителями

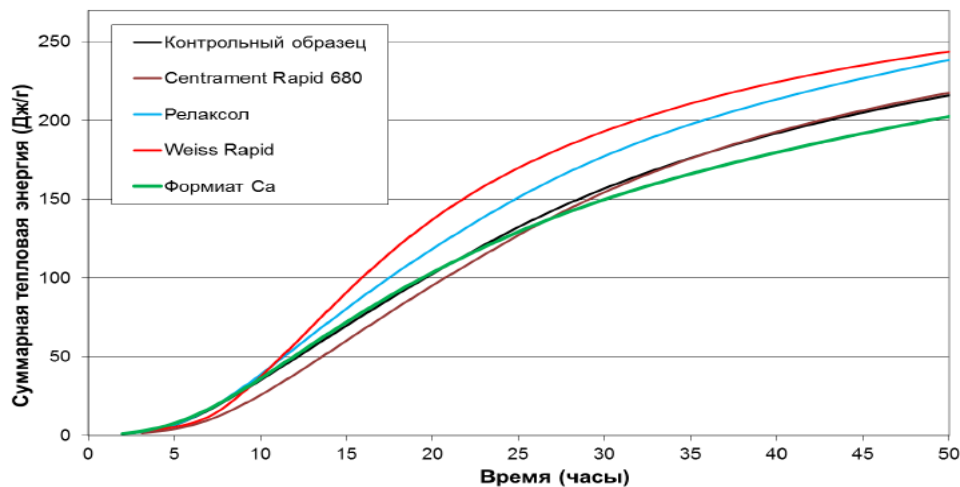


Рисунок 5 - Интегральный график суммарного тепловыделения цемента ПЦ 500 №1 с добавками – ускорителями

Результаты сравнительного анализа эффекта действия добавок-ускорителей (табл.4) показывают, что наибольшей эффективностью обладает добавка-ускоритель WEISS RAPID, далее следует РЕЛАКСОН. Применение добавок-ускорителей CENTRAMENT RAPID 680 и ФОРМИАТ КАЛЬЦИЯ с портландцементом ПЦ 500 Д0 (ОАО «Вольскцемент») не эффективно и показало отрицательный результат.

Таблица 4 - Сводные данные по эффективности добавок-ускорителей

№	Добавки	Дозировка	Изменение суммарных тепловыделений относительно контрольного образца	
			Через 12 часов	Через 24 часа
1	CENRAMENT RAPID 680	1% (жид.)	-20,4%	-5%
2	РЕЛАКСОН	3% (жид.)	+12,8%	+14,4%
3	WEISS RAPID	1%	+16,5%	+27,5%
4	ФОРМИАТ КАЛЬЦИЯ	1%	-0,8%	-3,3%

Добавка Centrament Rapid 680 является пластифицирующей добавкой с ускоряющим эффектом. Согласно полученным результатам – в первые 24 часа в образце, модифицированном данной добавкой, ускорения твердения не происходит. При этом

происходит заметное падение скорости экзотермической реакции относительно контрольного образца. Однако небольшой прирост суммарного объема тепловыделений при использовании данной добавки заметен через 50 часов. Данный факт означает, что ускоряющий эффект добавки может проявляться с некоторой задержкой или при снижении ВЦ (т.к. данная добавка обладает пластифицирующими свойствами).

Добавки-суперпластификаторы (табл.5) независимо от химической основы обладают замедляющим эффектом. Наибольший замедляющий эффект оказывают суперпластификаторы на основе водорастворимых карбоксилатных полимеров. При расчете термонапряженного состояния железобетонных конструкций и прогнозировании сроков строительства следует учитывать замедляющий эффект добавок-суперпластификаторов.

По окончании изотермических измерений тепловых эффектов гидратации цемента с добавками-пластификаторами были получены графики тепловых потоков гидратации и интегральный суммарного тепловыделения (рис. 6, рис. 7).

Таблица 5 – Добавки-пластификаторы, используемые в исследовании

№	Название	Тип	Производитель	Применяемая дозировка	Основа	Основное свойство
1	Muraplast FK 48	Жидкость	МС-Vauchmei	0,6%	НФС	Суперпластификатор
2	Muraplast FK 63	Жидкость	МС-Vauchmei	0,6%	ПК	Гиперпластификатор
3	Reamin MF-100	Порошок	Кубань Полимер	0,4%	МФС	Суперпластификатор
4	Реомах РС-750	Порошок	Кубань Полимер	0,4%	ПК	Гиперпластификатор
5	Weiss SM	Порошок	Weiss Reagens	0,4%	ПК	Суперпластификатор
6	Полипласт СП-1	порошок	ООО «Полипласт-Уралсиб»	0,4%	НФС	Суперпластификатор

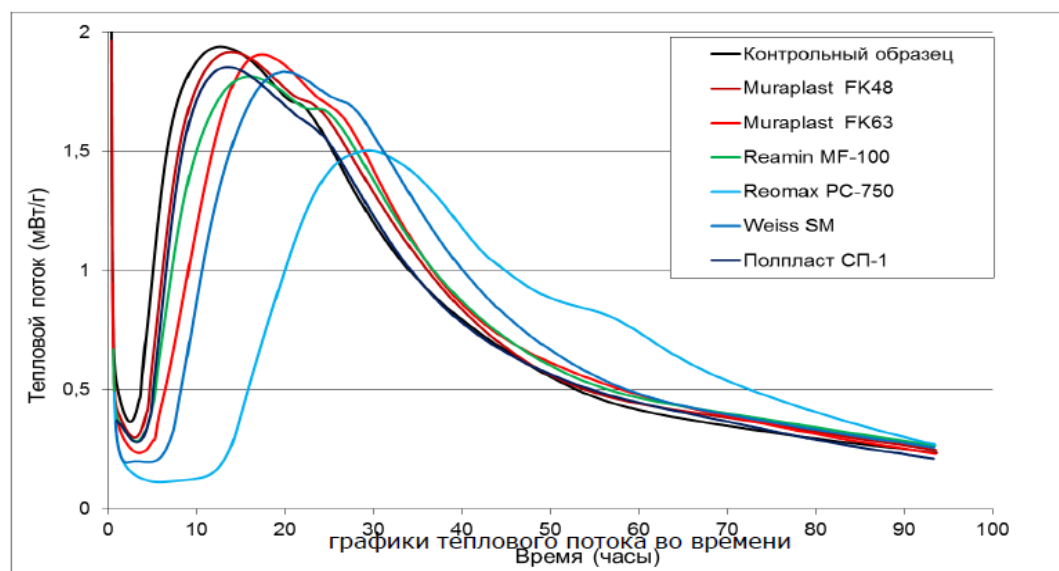


Рисунок 6- Тепловой поток гидратации цемента LRM69-CO1Cement 01 LQTS с добавками – суперпластификаторами



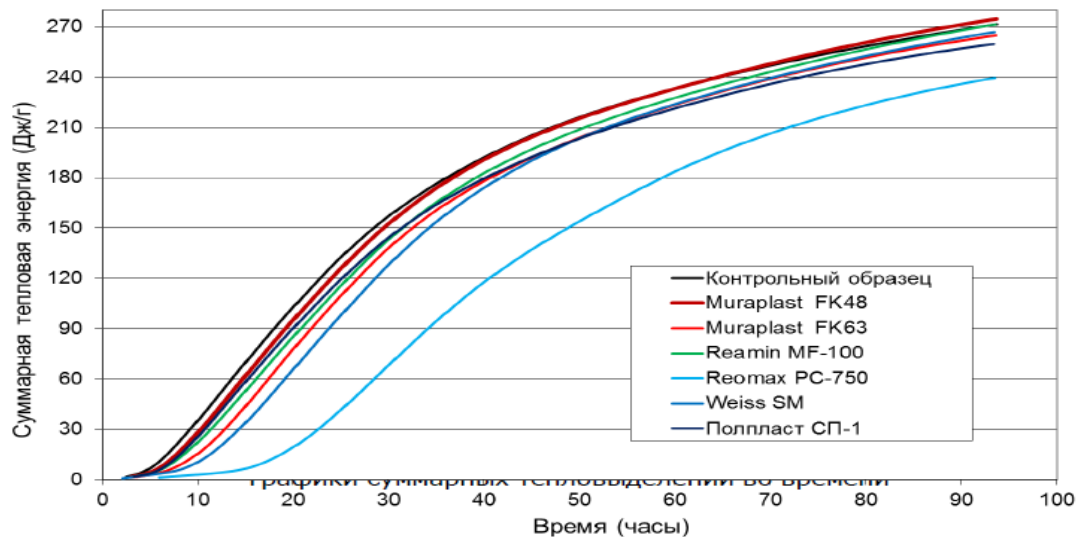


Рисунок 7 - Интегральный график суммарных тепловыделений цемента LRM69-CO1 Cement 01 LQTS с добавками – суперпластификаторами

Результаты сравнительного анализа эффекта действия добавок-пластификаторов (табл.6) показывают, что наибольшей эффективностью обладает добавка Reomax PC-750. Использование данной добавки позволит изготавливать самоуплотняющиеся бетонные смеси (СУБС). Их применение сокращает время производства бетонных работ ввиду исключения из технологического процесса операции виброуплотнения смеси [5].

Таблица 6 - Сводные данные по эффективности добавок-пластификаторов

№	Добавки	Дозировка	Изменение суммарных тепловыделений относительно контрольного образца	
			Через 12 часов	Через 24 часа
1	Muraplast FK 48	0,6%	-15,5%	-5,5%
2	Muraplast FK 63	0,6%	-48,5%	-18,5%
3	Reamin MF-100	0,4%	-31%	-14%
4	Reomax PC-750	0,4%	-92%	-71,6%
5	Weiss SM	0,4%	-63,3%	-28%
6	Полипласт СП-1	0,4%	-22%	-10,6%

Замедляющий эффект суперпластификаторов различных видов следует рассматривать с учетом достижения равной подвижности цементных паст и определением оптимальной дозировки добавок. Для решения данных задач следует провести дополнительные исследования влияния данных добавок на кинетику экзотермического процесса гидратации совместно с исследованиями по изменению подвижности составов для каждого из суперпластификаторов и подбором оптимальной дозировки по каждой из добавок.

В результате проведенного анализа тепловыделений в процессе гидратации портландцемента с использованием изотермического калориметра была получена объективная картина влияния на экзотермию цемента химических добавок.

Калориметрические исследования твердения портландцемента позволяют определить зависимость скорости набора прочности от вида и дозировки применяемых химических добавок и прогнозировать сроки возведения бетонных и железобетонных конструкций, что существенно упрощает подбор составов бетона с применением химических добавок.

Таблица 7 - Рекомендуемые добавки для применения в бетонах для строительства

№	Название	Тип	Производитель	Рекомендуемая дозировка	Основное свойство
1	2	3	4	5	6
1	Centrament Rapid 680	Жидкость	МС-Vauchemie	0,5-2,0%	Пластификатор с ускоряющим эффектом
2	Релаксон	Жидкость (33,5%)	Полипласт	0,6-1,5%	Ускоритель
3	Weiss Rapid	Порошок	Weiss Reagens	0,1-2,5%	Ускоритель
4	Формиат Са	Порошок	Еврохим-1	1,0-1,5%	Ускоритель
5	Muraplast FK 48	Жидкость	МС-Vauchemie	0,2-2,0%	Суперпластификатор
6	Muraplast FK 63	Жидкость	МС-Vauchemie	0,2-2,5%	Гиперпластификатор
7	Reamin MF-100	Порошок	Кубань Полимер	0,3-1,0%	Суперпластификатор
8	Реомат РС-750	Порошок	Кубань Полимер	0,2-1,0%	Гиперпластификатор
9	Weiss SM	Порошок	Weiss Reagens	0,2-1,0%	Суперпластификатор
10	Полипласт СП-1	Порошок	ООО «Полипласт-Уралсиб»	0,4-0,8%	Суперпластификатор

### Выводы

Применение химических добавок ускорителей и суперпластификаторов в составах тяжелых и особо тяжелых бетонов является перспективным и реализуемым способом сокращения сроков производства бетонных работ.

Применение в составах тяжелых и особо тяжелых бетонах исследованных химических добавок позволяет ускорять набор прочности путем оптимизации составов на этапе приготовления бетонной смеси. В зависимости от условий твердения, путем изменения дозировки добавок, можно регулировать кинетику твердения, а также процесс тепловыделения происходящий в бетоне.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 30459-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности».
2. ГОСТ 310.5-88 «Цементы. Методы определения тепловыделения».
3. Адамцевич А.О., Пашкевич С.А., Пустовгар А.П. Использование калориметрии для прогнозирования роста прочности цементных систем ускоренного твердения // Инженерно-строительный журнал, 2013. № 3. С. 36-39.
4. Тейлор Х. Химия цемента. Пер. с англ. М.: Мир, 1996. 560 с.
5. Рыжов И.Н. О влиянии свойств бетона на качество и себестоимость строительного объекта // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2007. № 8. С.35

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Ратиц Евгений Михайлович*

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», г. Нижний Новгород, Россия, магистрант кафедры технологии строительства.

E-mail: [tsp\\_159@mail.ru](mailto:tsp_159@mail.ru)





*Ratz Evgenii Mihailovich*

FSEI HPE «Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering» (NNGASU), Nizhny Novgorod, Russia, master's degree of Construction engineering.

E-mail: [tsp\\_159@mail.ru](mailto:tsp_159@mail.ru)

*Хряпченкова Ирина Николаевна*

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», г. Нижний Новгород, Россия, доктор философских наук, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии строительства.

E-mail: [irina-xr@mail.ru](mailto:irina-xr@mail.ru) Skype: irina-xr

*Khriapchenkova Irina Nikolaevna*

FSEI HPE «Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering» (NNGASU), Nizhny Novgorod, Russia, chair of Construction engineering, professor.

E-mail: [irina-xr@mail.ru](mailto:irina-xr@mail.ru) Skype: irina-xr

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи:  
603950, Нижний Новгород, Ильинская ул., 65, ННГАСУ, каф. ТСП, каб. VI-604.  
Хряпченкова И.Н. +7909 289 4375