

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №5, Том 12 / 2020, No 5, Vol 12 <https://esj.today/issue-5-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/49SAVN520.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Лангнер Е.А., Шиховцов А.А., Царёв А.А., Петросян В.В. Современные технологии ускорения набора прочности бетона // Вестник Евразийской науки, 2020 №5, <https://esj.today/PDF/49SAVN520.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Langner E.A., Shikhovtsov A.A., Tsarev A.A., Petrosyan V.V. (2020). Modern technologies for accelerating concrete strength development. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 5(12). Available at: <https://esj.today/PDF/49SAVN520.pdf> (in Russian)

УДК 691

ГРНТИ 67.09.33

Лангнер Елизавета Александровна

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия
Студент 4 курса, бакалавр
E-mail: langner99@bk.ru

Шиховцов Алексей Александрович

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия
Доцент
Кандидат физико-математических наук
E-mail: alexey_oc@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=787830

Царёв Александр Андреевич

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия
Магистрант
E-mail: At18071993@gmail.com

Петросян Вагаршак Вардович

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия
Магистрант
E-mail: Vagonesh777@gmail.com

**Современные технологии
ускорения набора прочности бетона**

Аннотация. Описан ряд преимуществ применения бетона в технологии возведения строительных объектов. Рассматриваются возможности сокращения сроков возведения с применением бетона. К этим возможностям относятся такие методы как тепловая обработка и химические модификаторы, позволяющие ускорить процессы схватывания и твердения бетонной смеси. Рассмотрено применение интенсификации твердения бетона, что особенно важно для условий крайнего севера и холодного времени года. Сделан анализ наиболее действенного метода, позволяющего ускорить процесс твердения и поддержать высокие темпы строительства в зимний период, а именно теплового нагрева бетонной смеси. Выявлены достоинства и недостатки данного метода. Так же проведены всесторонние анализы и сравнения добавок-пластификаторов – химических модификаторов, которые добавляются в бетонную смесь и позволяют ускорить процессы схватывания и твердения и добавок-ускорителей, чье применение практикуется не только в бетонировании монолитных

конструкций, но и в технологии производства сборного бетона, а также железобетона. Все обоснования подкреплены графиками и таблицами, взятыми из существующих исследований российских авторов. На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что все рассмотренные в данной статье методы интенсификации твердения бетона способны ускорить не только производство бетонных работ, но и процесс возведения самого объекта строительства. Процесс тепловой обработки позволяет ускорить набор прочности бетона быстрее, чем при обычных условиях твердения, а добавки-ускорители положительно влияют на процесс схватывания бетонной смеси за счет неорганических кислот и солей в своем составе.

Ключевые слова: сокращение сроков строительства; интенсификация твердения бетона; тепловой нагрев; тепловая обработка; пластификаторы; добавки-ускорители; суперпластификаторы; изотермические измерения; добавки для бетона

Актуальность


Современное строительство невозможно представить без применения такого строительного материала как бетон. При его участии создаются не только типовые и уникальные здания, но и архитектурные изделия.


Одной из важнейших особенностей бетона является возможность значительного сокращения сроков возведения здания при создании более оптимальных условий его твердения [1]. При более высоких температурах набор прочности бетона осуществляется быстрее, и напротив, в холодное время года, при низких температурах твердение бетонной смеси происходит крайне медленно. В этом можно убедиться, проанализировав график набора прочности бетона в зависимости от среднесуточной внешней температуры воздуха и интервалом твердения бетона по дням (см. табл. 1).


Таблица 1

График набора прочности бетона¹

Марка бетона M200–M300 (раствор замешен на портландцементе M400–M500)	Среднесуточная внешняя температура для бетона, град. Цельсия	Интервал твердения, сутки						
		1	2	3	5	7	14	28
		Прочность бетона на сжатие (процент от марочной величины)						
	-3	3	6	8	12	15	20	25
	0	5	12	18	28	35	50	65
	+5	9	19	27	38	48	62	77
	+10	12	25	37	50	58	72	85
	+20	23	40	50	65	75	90	100
	+30	35	55	65	80	90	100	-

 – нормативно-безопасная прочность бетона на определенные сутки твердения

 – безопасная прочность бетона на определенные сутки твердения

 – полная прочность бетона на определенные сутки твердения

От данного параметра – скорости твердения в конечном счете, зависят сроки сдачи объекта строительства и общий экономический эффект от реализации проекта.

Для застройщика сроки возведения объекта имеют первостепенное значение, потому в современной практике не обходится без применения интенсификации твердения бетона. Это

¹ Процесс набора прочности бетона. Режим доступа: <https://kladembeton.ru/poleznoe/nabor-prochnosti-betona.htm>.

особенно важно в районах Крайнего Севера (занимают 70 % территории нашей страны), так как холодное время года там может составлять до 10 месяцев при среднесуточной температуре наружного воздуха +5 °С.

Именно поэтому при бетонировании сборно-монолитных и монолитных конструкций в зимний период необходимо обеспечивать бетону благоприятные условия твердения. Как правило, такие условия достигаются путем добавления в бетонную смесь противоморозных добавок или применения обогрева^{2,3}. Однако при низких температурах, в интервале (-10)–(-30) °С, противоморозные добавки не способны обеспечить бетону требуемый набор прочности, так как процесс гидратации цементного теста не может протекать в первые сутки при температуре ниже 0 °С [2]. Из этого следует, что температура воздуха в первые 24 часа должна быть положительной и близка к нормируемой. Это и является причиной, по которой в отечественной и зарубежной практике прибегают к применению различных методов ускорения набора прочности бетона до достижения им требуемых структурных характеристик.

В результате, наиболее действенным методом, позволяющим ускорить процесс твердения и поддержать высокие темпы строительства в зимний период является тепловой нагрев бетонной смеси. Механизм данного способа можно объяснить исходя из правила Вант-Гоффа: увеличение температуры химической реакции на 10 °С приводит к ускорению этой реакции в 2–4 раза (диапазоне температур от 0 °С до 100 °С). Следовательно, если набор прочности бетона будет происходить при 60 °С, то скорость его затвердевания в сравнении с нормальными условиями твердения вырастет в 16–256 раз. За 12 часов тепловой обработки: 3 часа – плавный подъем до требуемой температуры, 6 часов – изотермическая выдержка и 3 часа – плавное остывание, бетон успевает набрать 90–105 % своей марочной прочности.

Недостатком данного метода является его энергоемкость и наличие дополнительных трудовых и материальных затрат. Это объясняется тем, что на подготовительных стадиях обогрев бетона отличается большой трудоемкостью и большим количеством потребляемой установками энергии, что требует дополнительных затрат на обеспечение безопасности процесса [3–4]. Теоретически на нагрев изделия из бетона необходимо всего лишь 10–15 % тепловой энергии, а остальная энергия – это запланированные и незапланированные потери, которые достигают почти 50 % от общего количества энергозатрат. Кроме того, существует риск недобора прочности бетона, который очень часто компенсируется увеличением периода обогрева бетонных конструкций [5].

На рисунке 1 представлен график зависимости сопротивления сжатию бетонных кубов от времени при испытании их тепловлажностной обработкой. Режим, согласно которому проводилась тепловая обработка был следующим: выдержка изделий – 2 часа, изотермический подъем до требуемой температуры – 3 часа, 24 часа (72 часа) – изотермический прогрев, охлаждение – 2 часа. По окончании исследования было выявлено, что в зависимости от температуры прогрева прочность бетона при сжатии увеличивается: в 1 сутки – на 35–60 %; в 3 сутки – на 35–45 %; через 28 суток – 30–40 %.

Отсюда следует, что при температуре прогрева бетона равной 50 °С уже через сутки прочность бетона достигает 70 % от прочности $R_{тр}$, а через 3 суток – 120 %. Полная прочность бетон приобретает меньше чем за 2 суток.

² Прогрев монолитного бетона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://best-story.ru/articles/progreiv-monolitnogo-betona> 923.

³ Методы бетонирования с искусственным прогревом бетона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.spb-komplekt.ru/catalogue.php?cat_part=142.

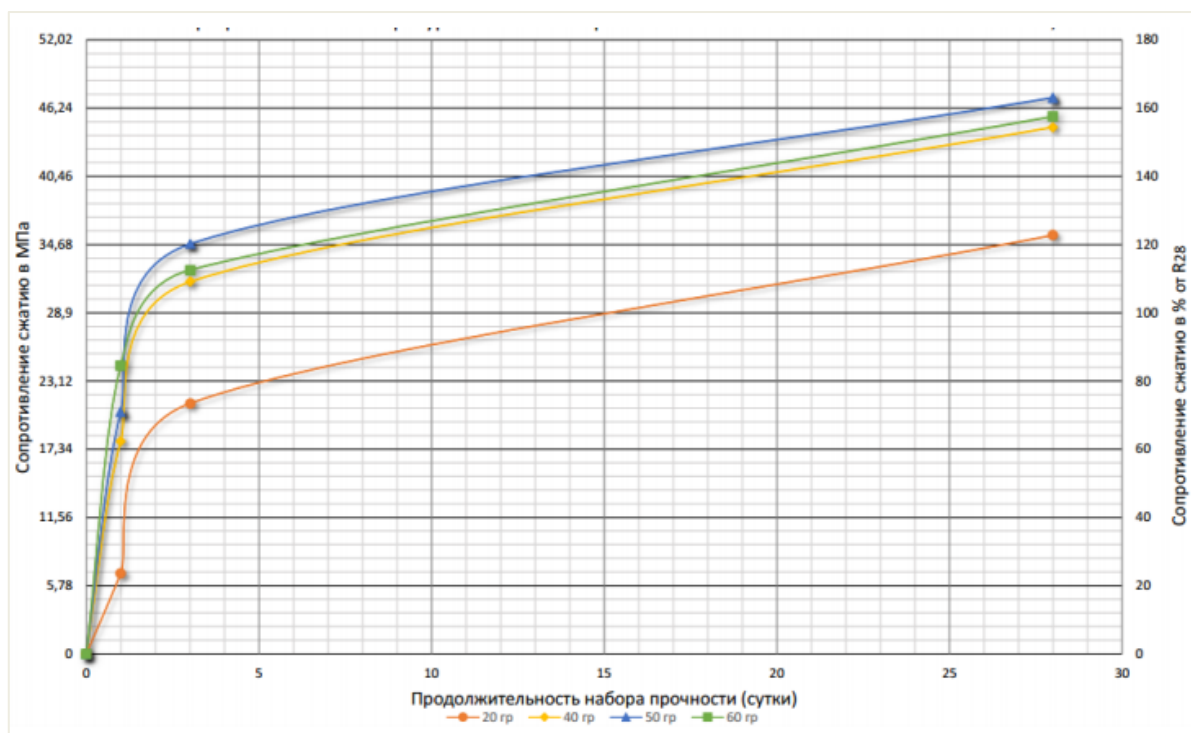


Рисунок 1. График зависимости $R_{сж}$ (МПа) от времени набора прочности (сутки) при различных температурах тепловой обработки (бетон В22,5П4) [6]

Разумеется, увеличение скорости набора прочности бетона является важным фактором не только при строительстве объектов в холодное время года, но и в летний период. Эта задача решается добавлением в бетонную смесь химических модификаторов, которые позволяют ускорить процессы схватывания и твердения бетонной смеси. К ним относятся: пластификаторы и суперпластификаторы, ускорители и комплексные добавки.

Пластификаторы и суперпластификаторы используются в строительстве чаще чем остальные. Их основное назначение – поглощение воды в бетонной смеси и, как следствие, уменьшение водоцементного отношения.

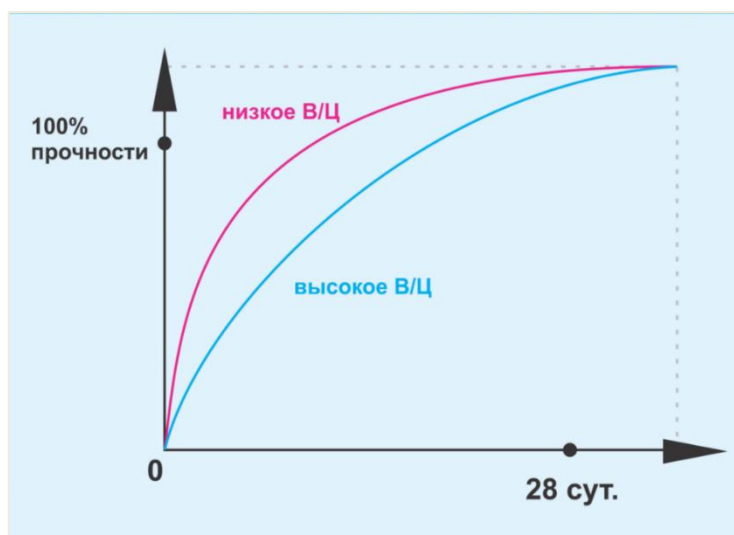


Рисунок 2. Застывание бетона с высоким и низким водоцементным отношением⁴

⁴ Как ускорить застывание бетона. Режим доступа: <https://cemmix.ru/articles/uskoriteli-tverdeniya>.

Посредством данного вида добавок значения характеристик бетонной смеси заметно возрастают: увеличивается прочность изделия, его водонепроницаемость и морозостойкость, а также возрастает подвижность самой смеси, что обеспечивает лучшее сцепление ее с арматурой [7–8]. Вместе с тем, уменьшение количества воды затворения способствует быстрому образованию концентрированного раствора, в котором кристаллизация происходит лучше, что сокращает время схватывания (см. рисунок 2).

Проанализируем результаты исследований, проведенных Российским химико-технологическим университетом им. Д.И. Менделеева, в которых испытывались четыре добавки суперпластификаторов одного производителя – «БАСФ Строительные системы», в широком диапазоне концентраций. Ознакомиться с информацией по добавкам можно по таблице 2.

Таблица 2

Добавки-пластификаторы, используемые в исследовании

№	Название	Тип	Основа	Плотность, кг/м ³	Водородный показатель, pH	Рекомендуемая дозировка
1	Rheobuild 1000	Жидкость	Сульфонический полимер	1184–1244	4–6	0,5–3 %
2	Glenium 116	Жидкость	Поликарбоксилатный эфир	1030–1070	4–6	0,2–2,0 %
3	Glenium ACE 430mr55	Жидкость	Поликарбоксилатный эфир	1065–1075	4–7	0,2–2,0 %
4	Pozzolith	Жидкость	Лигносульфонат	1170–1190	4–6	0,5–3 %

В таблице 3 отобразено количественное снижение водоцементного отношения (в зависимости от дозировки добавки) по отношению к бездобавочному цементу в процентах.

Таблица 3

Снижение водоцементного отношения по отношению к бездобавочному [9]

Название добавки / Содержание добавки в б/с, %	0,1	0,3	0,5	0,7	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	3,0
Rheobuild 1000	0	3,1	4,7	6,3	6,3	9,4	12,5	12,5	18,8	21,9	21,9	23,4	23,4
Glenium 116	0	1,6	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	7,8	6,3	9,4	9,4	12,5	15,6
Glenium ACE 430mr55	1,6	3,1	6,3	12,5	15,6	15,6	15,6	17,2	18,8	18,8	20,3	21,9	21,9
Pozzolith	1,6	6,3	9,4	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5

В ходе исследования было установлено, что с ростом концентрации добавок происходит снижение водоцементного отношения. Наилучшие результаты показали добавки Rheobuild 1000 и Glenium ACE 430, в то время как Pozzolith MR55, напротив, не привел к существенному снижению водопотребности цементного теста. Это объясняется тем, что при превышении эффективной дозировки и дальнейшем увеличении содержания пластификатора в бетонной смеси величина внутреннего трения частиц остается неизменной и уже не приводит к значительному снижению водопотребности бетонной смеси.

Говоря о добавках-ускорителях, можно отметить, что их применение практикуется не только в бетонировании монолитных конструкций, но и в технологии производства сборного бетона, а также железобетона. Действие этих добавок направлено на сокращение сроков схватывания бетонной смеси и интенсификации ее твердения в первые же сутки [10].

Ускорители активируют процесс гидратации цемента, что приводит к быстрому образованию гелей, которые захватывают в свои ячейки большое количество жидкой фазы и тем самым вызывают быстрое схватывание и последующее интенсивное упрочнение цементного камня. Это актуально не только для нормально-влажностного твердения, но и для бетонов, подвергаемых тепловой обработке.

Проанализируем действие добавок-ускорителей по результатам калориметрического исследования, проводимого ФГБОУ ВПО «Нижегородским государственным архитектурно-строительным университетом» (см. таблица 4).

Таблица 4

Добавки-ускорители, используемые в исследовании [8]

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

По результатам изотермических измерений тепловых эффектов при гидратации бетонной смеси с добавками-ускорителями твердения были получены графики тепловых потоков гидратации и интегральный суммарного тепловыделения (рисунок 3, рисунок 4).

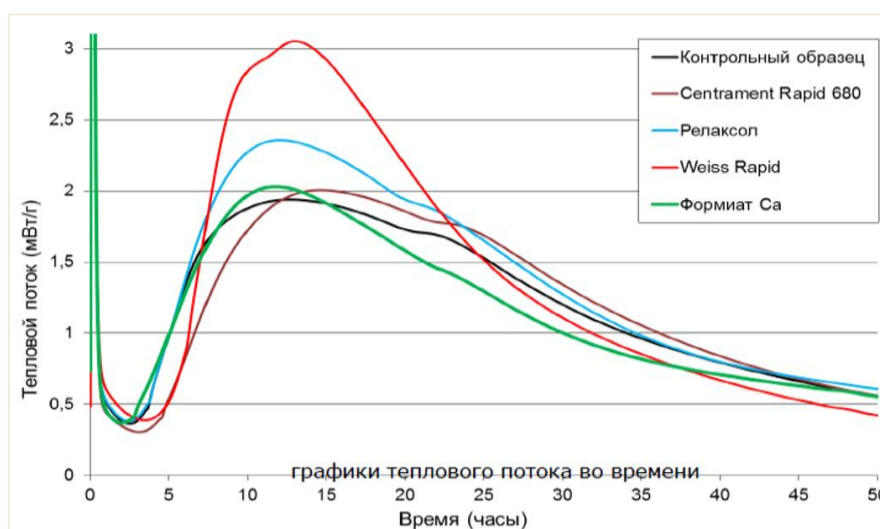


Рисунок 3. Тепловой поток гидратации цемента ПЦ 500 №1 с добавками-ускорителями [11]

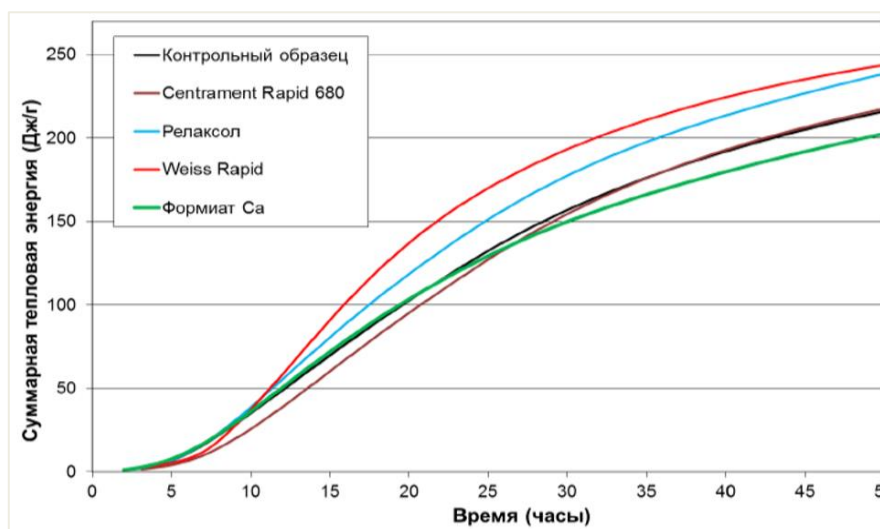


Рисунок 4. Интегральный график суммарного тепловыделения цемента ПЦ 500 №1 с добавками – ускорителями [11]

Проанализировав графики, можно заметить, что наибольшей эффективностью обладает добавка-ускоритель Weiss Rapid. Значение суммарного тепловыделения образца с данной добавкой через 12 часов превышает значение контрольного образца на 16,5 %, а через 24 часа – на 27,5 %. Второе место по эффективности занимает добавка-ускоритель Релаксон с разницей значений в измерении образцов через 12 часов – 12,8 % и через 24 часа – 14,4 соответственно. Применение добавок-ускорителей Centrament Rapid 680 и Формиат Кальция с портландцементом ПЦ 500 Д0 (ОАО «Вольскцемент») оказалось не эффективно и показало отрицательный результат (таблица 5).

Таблица 5

Сводные данные по эффективности добавок-ускорителей [11]

№	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 %

Автор исследования сообщает, что в образце с применением пластифицирующей добавки Centrament Rapid 680, обладающей ускоряющим эффектом, в первые 24 часа ускорения твердения не происходит. Вместе с тем наблюдается заметное снижение скорости экзотермической реакции относительно контрольного образца. Однако через 50 часов при использовании данной модифицирующей добавки замечен небольшой прирост суммарного объема тепловыделений. Данный факт означает, что ускоряющий эффект добавки может проявляться с некоторой задержкой или при снижении водоцементного отношения (т. к. данная добавка обладает пластифицирующими свойствами).

Выводы

Из результатов исследования можно отметить следующее: включение добавок-ускорителей в бетонную смесь ускоряет процесс гидратации, путем активации тепловыделений, тем самым обеспечивая быстрое схватывание и последующее интенсивное упрочнение цементного камня. В данном случае, применение добавки Weiss Rapid позволяет ускорить набор прочности бетона в 2 раза.

Изучив несколько возможных способов ускорения набора прочности бетона и обосновав их результативность путем анализа существующих научных исследований, авторы пришли к выводу, что рассмотренные методы интенсификации твердения бетона способны ускорить не только производство бетонных работ, но и процесс возведения самого объекта строительства. Тепловая обработка в зависимости от температуры прогрева позволяет укорить набор прочности бетона за одни сутки на 35–60 %, что в 2,5–3,6 раза быстрее, чем при нормальных условиях твердения. Добавки-ускорители также положительно влияют на процесс схватывания бетонной смеси за счет неорганических кислот и солей в своем составе. Являясь электролитами, они повышают растворимость цементных минералов и ускоряют набор прочности в первые сутки минимум в 2 раза в зависимости от своего состава и дозировки. Для того чтобы бетон начал быстрее твердеть в бетонную смесь могут добавлять пластификаторы и суперпластификаторы, которые поглощая воду, делают раствор более насыщенным. Соответственно, чем меньше водоцементное отношение в бетонной смеси, тем насыщеннее раствор и тем быстрее происходит затвердевание. Таким образом, используя данные методы при бетонировании сборно-монолитных и монолитных конструкций, завершение

строительства и сдача объекта в эксплуатацию произойдет в 2–4 раза быстрее, чем при естественных условиях набора прочности бетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шиховцов А.А., Мишин В.М. Расчет зависимости перенапряжения в зоне зарождения трещины в образцах с различными концентраторами напряжений с помощью метода конечных элементов // Современные наукоемкие технологии. – 2013. №3. С. 73–74.
2. Тимофеева Ю.В., Минаков Ю.А. Применение противоморозных добавок // Россия и мир: национальная безопасность, вызовы и ответы. Двадцать первые Вавиловские чтения: материалы международной междисциплинарной научной конференции: в 2 частях. Под общ. ред. В.П. Шалаева. 2018. С. 261–262.
3. Минаков Ю.А., Кононова О.В., Анисимов С.Н. Снижение энергопотребления при обогреве бетона в термоактивной опалубке // Приволжский научный журнал. 2013. № 2 (26). С. 46–52.
4. Комиссаров А.Н., Шиховцов А.А. Развитие ресурсосберегающих технологий в строительстве // В сборнике: Экологические, инженерно-экономические, правовые и управленческие аспекты развития строительства и транспортной инфраструктуры // Сборник статей Международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Институт строительства и транспортной инфраструктуры; ФГБОУ ВО «КубГТУ»; Международный центр инновационных исследований «OMEGA SCIENCE». 2017. С. 133–136.
5. Земляков Г.В. Исследование путей снижения затрат энергоресурсов в строительстве / Г.В. Земляков, С.П. Баранов, Е.И. Морозов // Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственно-хозяйственной деятельности, разработку экономичных и экологически чистых технологий и прогрессивных методов обучения: материалы 54-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 10 ч. – Минск: БГПА, 2000. – Ч. 7. – С. 56.
6. Титов М.М., Шульгин Д.В. Применение пластифицирующих добавок на основе эфиров поликарбоксилатов совместно с тепловой обработкой бетона // Труды новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (СИБСТРИН). 2015. Т.18. №1. С. 88–98.
7. Анисимов С.Н. Влияние пластифицирующих добавок на сроки схватывания цемента // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая. 2014. № 2. С. 224–227.
8. Клёнова Т.В., Минаков Ю.А. Пластификаторы в бетонной смеси // Россия и мир: национальная безопасность, вызовы и ответы. Двадцать первые Вавиловские чтения: материалы международной междисциплинарной научной конференции: в 2 частях. Под общ. ред. В.П. Шалаева. 2018. С. 203–204.
9. Корчунов И.В., Ахметжанов А.М., Сидорова Е.Н. Влияние пластификаторов нового поколения на свойства цемента // Инновационная наука. 2017. №1–2. С. 81–83.
10. Воронин В.В., Шувалова Е.А., Одинцов А.А., Архангельский Е.А. Применение добавок для ускорения набора прочности как альтернатива тепловлажностной обработке бетона // Транспортные сооружения. – 2018. – Т. 5. – № 2. – С. 10.
11. Ратц Е.М., Хряпченкова И.Н. Анализ эффективности применения химических добавок для тяжелого бетона с целью сокращения сроков производства бетонных работ // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2015. Т.1. №2. С. 57–65.

Langner Elizaveta Alexandrovna

Kuban state technological university, Krasnodar, Russia
E-mail: langner99@bk.ru

Shikhovtsov Alexey Alexandrovich

Kuban state technological university, Krasnodar, Russia
E-mail: alexey_oc@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=787830

Tsarev Alexander Andreevich

Kuban state technological university, Krasnodar, Russia
E-mail: At18071993@gmail.com

Petrosyan Vagharshak Vardovich

Kuban state technological university, Krasnodar, Russia
E-mail: Vagonesh777@gmail.com

Modern technologies for accelerating concrete strength development

Abstract. A number of advantages of using concrete in construction technology are described. The possibilities of reducing the construction time with the use of concrete are considered. These features include methods such as heat treatment and chemical modifiers that speed up the setting and hardening of the concrete mix. The application of concrete hardening intensification is considered, which is especially important for the conditions of the far North and the cold season. The analysis of the most effective method that allows to speed up the hardening process and maintain high construction rates in the winter period, namely, thermal heating of the concrete mix, is made. The advantages and disadvantages of this method are revealed. Also, comprehensive analyses and comparisons of additives-plasticizers – chemical modifiers that are added to the concrete mix and allow to speed up the setting and hardening processes and additives-accelerators, whose use is practiced not only in concreting monolithic structures, but also in the production technology of precast concrete and reinforced concrete. All justifications are supported by graphs and tables taken from existing research by Russian authors. Based on the conducted research, it can be concluded that all the methods of concrete hardening intensification discussed in this article can speed up not only the production of concrete works, but also the process of construction of the construction object itself. The heat treatment process allows you to accelerate the strength of concrete faster than under normal hardening conditions, and accelerator additives have a positive effect on the process of setting the concrete mixture due to inorganic acids and salts in their composition.

Keywords: reduction of construction time; intensification of concrete hardening; heat heating; heat treatment; plasticizers; accelerating additives; superplasticizers; isothermal measurements; concrete additives