

Гришина С.С., Антоненко Н.А., канд. техн. наук (Россия, г. Рязань, Рязанский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет»)

Grishina S.S., Antonenko N.A., Scientific adviser: Ph.D (Russia, Ryazan, Ryazan Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Moscow Polytechnic University")

## **СРАВНЕНИЕ УСКОРИТЕЛЕЙ НАБОРА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА COMPARISON OF CONCRETE STRENGTH GAIN ACCELERATORS**

***Аннотация:** проведен сравнительный анализ ускорителей набора прочности бетона. Рассмотрены достоинства и недостатки различных ускорителей.*

***Annotation:** a comparative analysis of concrete strength gain accelerators has been carried out. The advantages and disadvantages of various accelerators are considered.*

***Ключевые слова:** бетон, ускоритель, набор прочности*

***Key words:** concrete, accelerator, strength gain*

### **Введение**

Строительство является одной из ключевых и основополагающих отраслей экономики, играющей критически важную роль в развитии государства. Технологии строительства постоянно совершенствуются, претерпевая значительные изменения и инновации. Этот прогресс обусловлен стремлением к повышению эффективности, безопасности, устойчивости и экономичности строительных процессов. Бетон является одним из ключевых материалов в современном строительстве благодаря своей прочности, долговечности и универсальности. Он используется в различных типах конструкций, от жилых домов до крупных инфраструктурных проектов.

Бетон играет центральную роль в современном строительстве. Он остается одним из самых распространенных и универсальных строительных материалов в мире, благодаря относительной экономической доступности.

Большинство организаций предпочитают добавлять ускорители для набора прочности бетона в связи с сжатыми сроками строительства, связанными с определёнными обстоятельствами. Современные технологии производства и изучение новых методов строительства позволили создать уникальные средства, снижающие время твердения состава.

Технические требования к отклонению размеров, внешнему виду, наличию пятен, наплывов, требования к отпускной прочности, правила приемки, все необходимые виды и методы испытания, требования к маркировке, хранению, транспортированию и гарантии изготовителя приведены в:

1. ГОСТ 6133 «Камни бетонные стеновые»
2. ГОСТ 17608 «Плиты бетонные тротуарные. Технические условия»
3. СНиП 3.03.01 «Несущие и ограждающие конструкции»

Для достижения высокого качества изделий используются следующие технологические приемы: оптимальный выбор состава заполнителя по фракциям,

точностью дозирования компонентов, постоянного контроля влажности компонентов и подбора состава строительного раствора при изменении показателей сырья. Требуется проводить регулярное технологическое обслуживание оборудования, производить замену износившихся деталей и корректировать настройки.

Использование ускорителей твердения бетона является экономически и технически обоснованным при:

1. В производственном процессе при отрицательных температурах, в том числе при электрическом прогреве бетона.

2. При изготовлении железобетонных и штучных фасонных изделий применяются технологии, ускоряющие твердение бетона. Это позволяет сократить количество используемых форм. Кроме того, улучшенная текучесть бетонной смеси положительно влияет на внешний вид, прочность и долговечность готовых изделий.

3. Заливка монолитных конструкций, особенно в условиях ограниченного времени на использование опалубки. Наибольший эффект от уменьшения времени твердения достигается при применении скользящей формы опалубки.

4. При сжатом времени выполнения работ (ускорители сокращают в 2-3 раза).

5. Требуется увеличить удобоукладываемость бетонной смеси, особенно при производстве легких бетонов, сохраняя при этом водоцементное отношение и не ухудшая прочностные характеристики.

Ключевые задачи зимнего бетонирования:

1. Предотвращение замерзания воды в бетоне и обеспечение гидратации цемента при отрицательных температурах («теплый бетон» или уплотнённый).

2. Гарантия твердения уложенного бетона в конструкцию при отрицательной температуре в бетоне («холодный бетон»).

*Таблица 1*

**Рекомендуемые количества ПМД в зависимости от метода выдерживания бетона в конструкции**

Условия твердения	Температура твердения бетона до набора критической прочности			
	от 0 до -5°C	от -5 до -15°C	от -15 до -25°C	от -25 до -40°C
Метод термоса	С процентом ввода ПМД с расчётом на -5°C	С процентом ввода ПМД с расчётом на заданную отрицательную температуру	С процентом ввода ПМД с расчётом на -20°C	С процентом ввода ПМД с расчётом на -25°C
Электродный прогрев или прогрев греющим проводом	Расход добавки в расчете на 0°C	Расход добавки в расчете на -5°C	Расход добавки в расчете на -10°C	Расход добавки в расчете на -20°C

Ключевые задачи летнего бетонирования:

1. Обеспечение сохранения удобоукладываемости и однородности бетонной смеси.

2. Достижение целевых показателей подвижности бетонной смеси.
3. Обеспечение проектной прочности бетона

Гидратация цемента, приводящая к твердению бетона, представляет собой комплексную химическую реакцию, в результате которой формируются гидратные фазы. Для прогнозирования прочности бетона на различных этапах твердения используется следующая эмпирическая формула:

$$R_n = R_{28} \cdot \left( \frac{\lg n}{\lg 28} \right), \text{ МПа,} \quad (1)$$

где  $R_n$ ,  $R_{28}$  – прочность бетона на сжатие в возрасте  $n$  и 28 суток;  $\lg n$ ,  $\lg 28$  – десятичные логарифм возраста бетона».

Для ускорения строительства с использованием бетона необходимо учитывать влияние температуры на процесс его твердения. В теплых условиях бетон набирает прочность быстрее, что позволяет сократить сроки работ. В холодное время года твердение замедляется, что требует принятия специальных мер. График зависимости прочности бетона от температуры и времени позволяет оптимизировать процесс строительства в различных климатических условиях.

Таблица 2

График набора прочности бетона

Марка бетона М200–М300 (раствор замешен на портландцементе М400–М500)	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

Замедленное твердение бетона может существенно затянуть сроки строительства и негативно повлиять на экономику проекта. Поскольку для застройщиков время – деньги, ускорение этого процесса является приоритетной задачей. Особенно актуально это для регионов Крайнего Севера, где из-за длительного холодного периода (до 10 месяцев в году) и низких температур твердение бетона происходит медленнее, что требует применения специальных технологий.

Зимой, при возведении сборно-монолитных и монолитных конструкций, обеспечение оптимальных условий для твердения бетона становится критически важным. Традиционное использование противоморозных добавок не всегда эффективно при экстремально низких температурах (от -10 до -30 °С). При таких морозах гидратация цемента, ключевой процесс для набора прочности, практически останавливается в первые сутки, если температура опускается ниже нуля. Следовательно, для успешного твердения бетона необходимо поддерживать

положительную температуру в течение первых 24 часов. В связи с этим, строители во всем мире используют различные методы, позволяющие ускорить набор прочности бетона и обеспечить его соответствие проектным требованиям.

Не менее важным фактором, влияющим на прочность бетона, является водоцементное отношение.

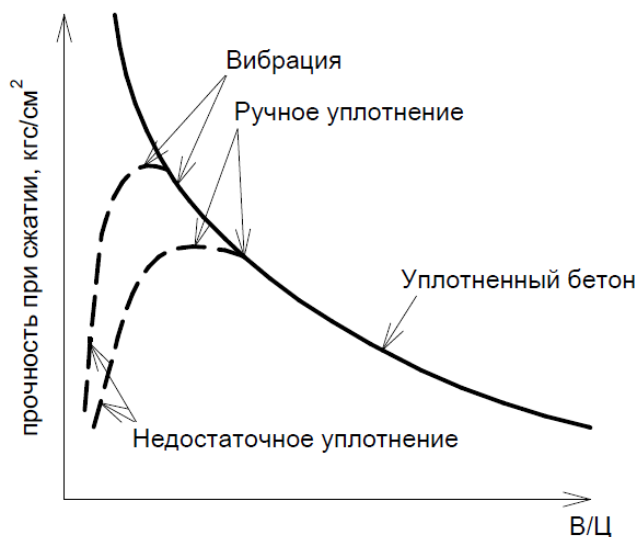


Рис. 1. Зависимость прочности бетона от водоцементного отношения

Процесс гидратации цемента прекращается, если недостаточно воды, изделие не добирает требуемую прочность, наблюдается повышенное водопоглощение. При избытке воды изделие оплывает, также снижается долговечность.

В зависимости от требуемых условий, необходимо выбрать специальные добавки, которые ускоряют процесс твердения бетона. Это даёт возможность добиться наивысших показателей и сэкономить средства. Все бетонные смеси выделяют значительное количество тепла.

### **Виды ускорителей прочности бетона:**

Под определенный результат, который необходимо получить по окончании работы, подбирается определенная добавка со своим механизмом воздействия и химическим составом. В соответствии с ГОСТ 24211-2008 добавки для бетона подразделяют следующим образом:

- а) добавки, изменяющие свойства бетонной смеси:
  - 1) пластифицирующие: суперпластифицирующие, пластифицирующие;
  - 2) водоредуцирующие: суперводоредуцирующие, водоредуцирующие;
  - 3) стабилизирующие;
  - 4) регулирующие сохраняемость подвижности;
  - 5) увеличивающие содержание воздуха, газовыделения;
- б) добавки, регулирующие свойства бетонов:
  - 1) регулирующие скорость твердения: ускорители, замедлители;
  - 2) повышающие прочность (увеличение прочностных характеристик бетона и раствора до требуемых значений к моменту их эксплуатации);
  - 3) снижающие проницаемость;
  - 4) продление срока службы арматуры в бетоне/растворе;

5) повышающие морозостойкость (обеспечивающие устойчивость к циклам замораживания и оттаивания);

6) повышающие коррозионную стойкость (улучшение защиты бетона и растворов от разрушения под воздействием агрессивных сред),

7) расширяющие (разработка составов и технологий для производства бетонов и растворов, демонстрирующих безусадочные или расширяющиеся свойства);

в) добавки, придающие бетонам и растворам специальные свойства:

1) противоморозные;

2) гидрофобизирующие;

г) минеральные добавки.

Долгий опыт использования химических добавок в строительстве убедительно доказывает преимущества комплексных добавок перед монодобавками. В то время как монодобавки, обладая узкой специализацией, часто оказывают нежелательное побочное воздействие, комплексные добавки позволяют нивелировать эти недостатки и одновременно усиливать положительный эффект. Например, пластификаторы, хотя и улучшают подвижность бетонной смеси, могут негативно сказаться на его прочности. Именно поэтому комплексный подход к добавкам является более перспективным.

Комплексные добавки для бетона и бетонных смесей классифицируются на пять основных групп, основываясь на их принципе действия и влиянии на характеристики материала:

– смеси поверхностно активных веществ (далее – ПАВ),

– смеси ПАВ и электролитов,

– смеси электролитов,

– добавки на основе суперпластификаторов,

– добавки полифункционального действия.

В современной строительной практике широко распространены комплексные добавки, позволяющие придать бетону или бетонной смеси широкий спектр дополнительных свойств, в дополнение к базовым, в зависимости от требуемых характеристик конечного продукта.

В строительной отрасли пластификаторы и суперпластификаторы являются наиболее востребованными добавками. Их ключевая функция заключается в снижении количества воды, необходимого для приготовления бетонной смеси, что позволяет уменьшить водоцементное отношение. Благодаря этому, бетон приобретает улучшенные характеристики: повышается его прочность, устойчивость к воде и морозу. Кроме того, улучшается подвижность бетонной смеси, что обеспечивает более качественное сцепление с арматурным каркасом. Сокращение объема воды также способствует ускоренному формированию насыщенного раствора, что оптимизирует процесс кристаллизации и, как следствие, сокращает время затвердевания бетона.

### **Разновидности отечественных и иностранных составов**

#### **Конкрит-Ф**

Состав на основе хлористого кальция, сокращающий сроки твердевания. К его достоинствам относят повышение износостойкости поверхности (увеличение

прочности в 1,5 раза и выше), отрицательным температурам и ускоренное высвобождение элементов из форм и опалубки. Растворяется в воде и вводится при затворении сухих компонентов. Подходит при приготовлении бетона для тротуарной плитки.

### **Релаксор**

Суперпластификатор, выпускаемый в виде порошка, пасты или водного раствора. Используется как с целью ускорения процесса схватывания и набора прочности, так и в целях защиты от низких температур. Рекомендуются при заливке бетоном монолитных конструкций, комбинировании с электропрогревом и замесе раствором с нестандартными наполнителями. Использование добавки позволяет снизить расход цемента до 30 %.

### **Masterrheobuild 1000 (rheobuild 1000)**

Суперпластификатор, понижает количество воды в реопластичных бетонах, не содержит хлора, ускоряет набор начальной (критической) прочности бетона в зимнее время, способствует раннему снятию опалубки. Преимущества: masterrheobuild 1000 представляет собой бетонную добавку на основе нафталина сульфоната. Обеспечивает суперподвижность, уменьшает в значительной степени содержание воды в реопластичных бетонах, не содержит хлора, не вызывает коррозию арматуры, уменьшает время набора прочности бетона в зимнее время, способствует раннему снятию заливочных форм опалубки.

### **MC-Rapid 115**

Комплексная пластифицирующая ускоряющая твердение добавка с противоморозным эффектом. Рекомендуемая дозировка 0,5-2,5% от массы цемента. Цвет – коричневый. Подвижность до П5, для теплого бетона, высокая сохраняемость, хранится при отрицательной температуре.

### **Ритент Перфект**

Является пластификатором с эффектом ускорения твердения бетона. Химическая основа «Ритент Перфект» состоит из полимермодифицированных лигносульфонатов и комплекса неорганических солей. По действию на бетоны основными эффектами являются пластификация, водоредуцирование и ускорение набора прочности бетона в ранние сроки твердения.

### **Гранд Т5**

Суперпластифицирующая добавка нового поколения на основе высококачественного комплекса поликарбоксилатного эфира, стабилизаторов и поверхностно-активных веществ. Относится к виду пластифицирующих – водоредуцирующих, к классу суперпластификаторов и ускорителей твердения. Применяется для товарного бетона, ЖБИ и топпингов.

### **Addiment**

Продукция немецкого производителя Sika. Представлена ускорителями в формате порошков и готовых смесей, применяемых для различных целей: для автоматизированного покрытия, производства работ при отрицательных температурах, сокращения сроков схватывания. К достоинствам относят совершенствование структуры бетона и увеличение его водонепроницаемости, к минусам – большая стоимость. Дозировка зависит от разновидности и варьируется

от 1 до 5 %.

### **Addiment BE2**

Немецкая добавка ускоряет процесс затвердевания монолита. Используется при сооружении фундаментов и формировании стяжки.

Добавки, используемые в ускорителях: калия карбонат, кальция хлорид, кальция нитрат, кристаллогидрат технический натрия сульфата, лигнопан Б2.

Наиболее изучена и распространена такая добавка, как хлористый кальций (CaCl), вводимая в воду затворения в момент приготовления бетонной смеси в количестве 3 % от массы цемента для неармированных конструкций. Данная добавка помимо положительного эффекта может отрицательно сказаться на качестве бетона. Превышения допустимой концентрации хлористого кальция приводит к быстрому схватыванию цемента и увеличению усадки цементного камня.

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 направленно на сокращение сроков схватывания бетонной смеси и интенсификации ее твердения в первые же сутки. 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.

### **Вывод**

Твердение бетона – это сложный физико-химический процесс, в ходе которого образуются новые соединения при взаимодействии цемента с водой. Ускорители набора прочности (твердения бетона) повышают прочность, морозостойкость бетонов и снижает их водопроницаемость.

Внедрение добавок в бетонных смесях обеспечивает повышение марки бетонной смеси по удобоукладываемости с сохранением прочности на весь период твердения от П1 до П5, раннюю распалубочную прочность при производстве монолитных работ, сокращение продолжительности или снижение температуры тепловлажностной обработки, изготовление изделий и конструкций по беспропарочной технологии.

С каждым годом современное строительство все больше ориентируется на использование всевозможных химических добавок в качестве инструмента повышения скорости набора прочности бетона.

### **Библиографический список**

1. Зими́на А.А. Современные технологии ускорения набора прочности бетона // Студенческие дни науки в ТГУ – 2022: научнопрактическая конференция: Тольятти, 4-29 апреля 2022 года : сборник студенческих работ / отв. за вып. С.Х. Петерайтис. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2023. С. 36-40
2. 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.

3. Cemmix [Электронный ресурс]. – URL: <https://cemmix.ru/practical-issue/praktika-primeneniya/obzor-dobavok-dlya-betona-vidy-osobennosti-primene> (дата обращения: 08.02.2025).

4. Ktbbeton [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.ktbbeton.com/press/articles/otsenka\\_vliyaniya\\_nitritov\\_i\\_ftoridov\\_na\\_izmenenie/](https://www.ktbbeton.com/press/articles/otsenka_vliyaniya_nitritov_i_ftoridov_na_izmenenie/) (дата обращения 08.02.2025).

5. 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.