
А. К. ЛЕВАНОВИЧ
доцент

ПРИМЕНЕНИЕ ХОЛОДНОГО БЕТОНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Нормальным развитием строительного производства по возведению жилищно-бытовых и промышленных объектов нужно признать такое развитие, когда в течение всего года строительство выполняется равномерными темпами, с постоянными кадрами рабочих. Только при такой организации работ производительность труда, дневная и месячная выработка рабочих, использование механизмов и подсобных предприятий будут максимальными и полными.

К сожалению, следует констатировать, что даже передовые строительные тресты с наступлением зимы допускают резкое сокращение объемов работ, чем приносят большие убытки государству. Так, например, такие крупные и передовые тресты, как № 136 Министерства строительства и № 1 Министерства городского и сельского строительства, допускают резкое снижение объемов работ в зимние месяцы. В январе, феврале и марте объем фактически выполняемых работ составляет 60—72% от объема выполняемых работ в летние месяцы.

Разработанные в нашей стране новые прогрессивные методы производства каменных, бетонных и железобетонных работ в зимних условиях, апробированные практикой и научно-исследовательскими работами, зимняя технология ведения строительных работ дают возможность полностью избежать снижения работ в зимнее морозное время. Работы по выполнению объемов и сдачи объектов в эксплуатацию осуществлять равномерно в течение всего года.

Наибольшие затруднения в проведении работ зимой представляют бетонные и железобетонные работы. Однако опыт зимнего строительства, проводимого в широких масштабах, пока-

зывает пути преодоления этих трудностей. Разработанная технология зимнего бетонирования методом термоса, паропрогрева и электропрогрева полностью обеспечивает приготовление и укладку бетона хорошего, заданного проектом, качества. Значительно сложнее обстоит дело с экономической стороной зимнего бетонирования. Во многих случаях зимнее бетонирование вызывает такие большие дополнительные затраты, что кубометр бетона, приготовленного и уложенного методом термоса, паро- и электропрогрева, обходится дороже обычного на 42—67%, что в наших условиях, при громадных ежегодных капиталовложениях, совершенно недопустимо.

По укрупненным подсчетам, за зимний период шестой пятилетки нужно выполнить около 75 млн. м³ бетонных и железобетонных конструкций. Стоимость только зимних удорожаний по этим работам составит 5—6 млрд. руб. Отсюда понятна государственная важность проблемы отыскания и разработки технологии зимнего бетонирования, ликвидирующей эти непроизводительные затраты.

Новым способом зимнего бетонирования, уже достаточно полно изученным, является способ «холодного» бетонирования с химическими добавками. Способ этот является результатом творческой инициативы Волгодонстроя, Нефтяного института им. Губкина, ВНИИ Стройнефти, Воронежского треста № 25, Челябинметаллургстроя и других организаций. В Минске, в частности, бывш. трест Автопромстрой изготовил и уложил в конструкции холодного бетона за 1952—1955 гг. до 3 000 м³.

Широкое внедрение холодного бетона в строительное производство всеми строительными организациями тормозится недостаточно полной изученностью новых методов бетонирования и влияния добавок на свойства, качество и долговечность бетонных и железобетонных конструкций. Автором за период 1951—1955 гг. выполнены некоторые исследования затронутых вопросов, выводы по ним излагаются в настоящей статье.

ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА БЕТОНЫ В РАЗЛИЧНОЙ СТАДИИ ТВЕРДЕНИЯ

В основном различие между условиями твердения бетона летом и зимой сводится к следующему. Уложенный летом бетон, как правило, имеющий температуру, весьма близкую к температуре окружающего воздуха, в дальнейшем не подвергается охлаждению, а, наоборот, даже несколько нагревается за счет тепла, выделяющегося при твердении цемента (изотермия). Бетон же, уложенный зимой, немедленно по его укладке начинает подвергаться охлаждению. Скорость охлаждения зависит от целого ряда причин: от разности температур уложенного бетона и окружающей среды, от величины охлаждаемой поверх-

ности, от массы уложенного бетона, от теплопроводности опалубки и т. д. В результате этого охлаждения бетон в конце концов замерзает и, следовательно, процесс твердения практически прекращается. При наступлении более теплого времени бетон оттаивает, и процесс твердения в нем снова возобновляется. Сейчас он протекает по-разному, в зависимости от того, как быстро после укладки бетон подвергся замораживанию. Из сказанного выше становится ясным, что практически наибольший интерес в исследованиях может иметь вопрос, как протекает дальнейшее нарастание механической прочности один раз замороженного бетона.

На основании многочисленных опытов по замораживанию бетона в различные сроки его твердения можно прийти к следующим выводам. Мороз оказывает вредное влияние как на схватывающийся бетон, так и на бетон, находящийся в ранней стадии твердения. Чем старше возраст бетона, или, вернее, набранная механическая прочность до первоначального замораживания, тем меньше влияния оказывает замораживание на последующий после оттаивания процесс твердения. Эта первоначальная, так называемая критическая, прочность принимается равной 25—30 кг/см^2 . Это положение подтверждается проведенными нами опытами с образцами, приготовленными на волковском цементе (рис. 1).

Однако нужно отметить, что замораживание бетона при «критической прочности» не отражается на конечной механической прочности на сжатие, ухудшающим образом влияет на

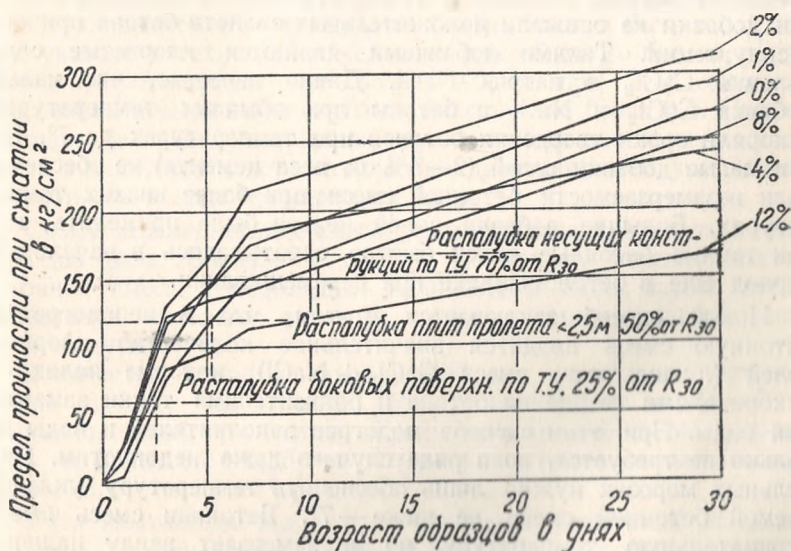


Рис. 1. График влияния добавки хлористого кальция на прочность бетона.

другие его свойства, особенно повышает водонепроницаемость бетона и уменьшает его плотность.

Опытами установлено, что следующие факторы ускоряют процесс твердения бетона:

- а) уменьшение водоцементного отношения;
- б) применение для зимнего бетона как вяжущих, так и инертных — более высокого качества. Цемент рекомендуется применять марки не ниже «400»;
- в) увеличение времени перемешивания бетона и лучшего уплотнения при укладке;
- г) создание оптимальных условий в отношении температуры и влажности для твердения бетонов;
- д) введение в бетон химических ускорителей твердения и пластифицирующих добавок.

Первые четыре условия, ускоряющие процесс твердения бетона, связаны с тем, что в момент замораживания бетона в нем не должно содержаться свободной воды в виде отдельных линз, которая при замерзании и расширении вызывает внутренние напряжения, которые разрушают и деформируют структуру твердеющего бетона.

Последнее мероприятие, в виде введения в бетон химических ускорителей твердения, является тем, на чем основана технология холодного бетонирования в зимних условиях. Нужно подобрать химические вещества, которые понижают точку замерзания воды (а значит и бетона, затворенного на воде) и этим ускоряют твердение бетона, с одной стороны, и, с другой стороны, чтобы эти добавки не снижали положительных свойств бетона при его эксплуатации. Такими добавками являются хлористые соли кальция CaCl_2 и натрия NaCl . Давно известно, что малые добавки CaCl_2 и NaCl в бетоны при обычных температурах ускоряли сроки твердения бетонов при температурах до 7° . Но эти малые добавки солей (2—3% от веса цемента) не обеспечивали незамерзаемости бетонной смеси при более низких температурах. Большие добавки солей нельзя было применять, так как теплые бетонные смеси быстро схватывались в начальный период еще в бетономешалке при перемешивании.

Новый способ заключается в том, что в неподогретую бетонную смесь вводится значительное количество хлорных солей (лучше всего смеси $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$), которые являются ускорителями твердения бетона и понизителями точки замерзания воды. При этом способе подогрев заполнителей и воды не только не требуется, но в ряде случаев даже недопустим. При сильных морозах нужно лишь обеспечить температуру укладываемой бетонной смеси не ниже -7° . Бетонная смесь имеет отрицательную температуру, но не замерзает ввиду наличия в ней понизителей точки замерзания, и набирает необходимую

прочность. Добавка хлористого натрия, т. е. дешевой поваренной соли, обеспечивает незамерзание бетонных смесей, а комбинация ее с хлористым кальцием обуславливает хорошее твердение на морозе благодаря наличию в бетоне жидкой фазы. Установлено, что это твердение протекает не так быстро, как в летних условиях или подогретых инертных. К месячному сроку бетон набирает лишь 60—70% нормальной 30-дневной прочности, а полная марочная прочность достигается только по истечении 3 месяцев твердения на морозе. Во многих случаях, особенно при возведении монолитных сооружений, эти сроки приемлемы.

Особое внимание при применении «холодного» бетона следует обращать на подбор состава бетона и дозировку добавок в зависимости от температуры воздуха в первые 10 дней твердения бетона. Значительное влияние на процесс твердения бетона оказывает минералогический состав цемента. При производственном применении способа «холодного» бетонирования необходимо учитывать минералогический состав цемента, добавки пластификаторов, концентрацию и дозировку солей, водоцементное отношение, а также условия твердения бетона и гранулометрию его составляющих. Не рекомендуется холодные бетоны готовить на цементе с повышенным содержанием трехкальциевого алюмината и свободной извести. Лучшими цементами являются низко- и средне-алюмосиликатные портланд-цементы марки не ниже «400».

При бетонировании на пуццолановых портланд-цементах и шлакопортланд-цементах необходимо учитывать их замедленное твердение и пониженную плотность и морозостойкость. Удобоукладываемость «холодного» бетона должна быть такой же, как указано в технических условиях для обычного бетона, водоцементное отношение — не более 0,6, а при необходимости обеспечить повышенную морозостойкость — не более 0,5. Подбор составов бетонов может производиться любым способом, но надо иметь в виду, что пластифицирующие действия солей уменьшают потребность в воде примерно на 10%.

Сроки перемешивания смеси рекомендуется увеличить в полтора-два раза. Вначале в течение 1,5 минуты перемешивается бетонная смесь с небольшим количеством воды, затем, после добавления солевого раствора, смесь перемешивается еще 2—3 минуты.

В качестве крупных заполнителей для «холодных» бетонов лучше щебень, чем гравий. Применение гравия на 18—26% понижает прочность бетона. Средняя крупность песка должна быть не менее 0,3—0,35 мм. Применение более мелких песков значительно понижает прочность бетона.

Учтя изложенное выше и на основании испытаний опытных образцов, для практических целей можно пользоваться солевыми добавками в концентрации, указанной в нижеследующей таблице.

Таблица 1

Расчетная отрицательная температура наружного воздуха за первые 10 дней твердения бетона	Концентрация безводных солей в кг на 100 л воды затворения			В % от веса цемента при $\frac{В}{Ц} 0,5-0,6$ смеси $CaCl_2 + NaCl$
	хлористый кальций	поваренная соль	смесь	
5	6	6	3 + 3	3—3,5
10	12	12	6 + 6 или 4 + 8	6—7,5
15	—	—	6 + 10 или 8 + 8	8—10
20	—	—	10 + 10	10—12

При температурах более низких на каждый градус понижения ниже 20° рекомендуется добавлять солей 0,65—0,85% от веса цемента.

Ориентировочный подсчет потребности безводных солей может быть сделан по следующей таблице расхода солей на 1 м³ бетона.

Таблица 2

Для бетонов марки «200» $\frac{В}{Ц} 0,5-0,6$ при отрицательных температурах воздуха	Хлористого	Поваренной	Смеси по 50% $CaCl_2 + NaCl$
	кальция $CaCl_2$	соли $NaCl$	
	в кг	в кг	в кг
5	10,5—12,5	10,5—12,5	9,5—11,5
10	21,0—26,5	21,0—26,5	20,0—24,5
15	—	—	26,0—30,0
20	—	—	32,0—38,0

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ

Для приготовления водного раствора солей нужной концентрации рекомендуется пользоваться концентрированными растворами следующего удельного веса при температуре 15°С:

- раствор хлористого кальция — 1,29,
- раствор хлористого натрия — 1,15.

Эти растворы могут быть получены с заводов-поставщиков или же растворением безводных твердых солей хлористого кальция — 0,427 кг на 1 л воды и хлористого натрия — 0,25 кг на 1 л воды.

Для ускорения растворения солей рекомендуется подогревать воду, дробить соли и перемешивать раствор.

ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ И ОСОБЕННОСТИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ, ТВЕРДЕЮЩЕЙ НА МОРОЗЕ

Достижение заданной марки бетона, твердеющего на морозе, может быть запроектировано на любой срок в пределах 28—180 дней.

Ввиду отсутствия обоснованных данных о скорости твердения бетона на морозе в зависимости от изменения минералогического состава цемента, дозировки солей и температуры воздуха при проектировании сроков приобретения бетоном заданной марки можно пользоваться следующими данными:

7 суток	28 суток	2 месяца	3 месяца	6 месяцев
20—30%	50—60%	65—80%	90—100%	100—120%

Бетонную смесь рекомендуется применять с начальной температурой 7—3°, регулируя ее температурой составляющих.

Уплотнение бетонной смеси производится тщательным вибрированием. При бетонировании конструкции с арматурой необходимо особо обеспечить тщательное соблюдение защитного слоя. От его плотности и толщины зависит возможность коррозии арматуры. Вслед за укладкой бетонной смеси следует принять тщательные меры по его укрытию (для уменьшения теплопотерь). Для укрытия можно применять: песок, опилки, торф, снег и т. д., прокладывая между бетоном и укрытием листовой материал. Снятие укрытия, обеспечивающего заданные условия твердения, может производиться при достижении бетоном не менее 50% марочной прочности.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ «ХОЛОДНЫХ» БЕТОНОВ

Бетон с повышенными (более 3% от веса цемента) добавками хлористых солей, твердеющий на морозе, допускается к применению в следующих случаях:

- а) в бетонных и бутобетонных конструкциях;
- б) в конструкциях с незначительным процентом армирования, например, фундаменты зданий и оборудования, подпорные стенки, полы прозданий, дорожное строительство;
- в) в монолитных железобетонных конструкциях, работающих в постоянных условиях под водой или внутри здания, с относительной влажностью не более 60%, с рабочей арматурой диаметром не менее 8 мм и защитным слоем 25 мм.

В прочих случаях — при высокой меняющейся температуре и влажности «холодный» бетон не допускается, а также в конструкциях с предварительно напряженной арматурой.

ПРИМЕР РАСЧЕТА СОСТАВА БЕТОНА С ДОБАВКАМИ ХЛОРИСТЫХ СОЛЕЙ, ТВЕРДЕЮЩЕГО НА МОРОЗЕ

Требуется подобрать состав бетона марки «200». Отрицательная температура воздуха в период укладки и твердения бетона — 12°C.

Исходя из условий более быстрого нарастания прочности, выбираем, согласно приведенным таблицам, следующую дозировку солей: CaCl_2 — 10% и NaCl — 6% по отношению к весу всей воды, содержащейся в бетонной смеси.

Удельный вес раствора CaCl_2 — 1,29; удельный вес раствора NaCl — 1,15; цемент марки «400»; щебень гранитный влажностью 1,5%; песок влажностью 3%.

Водоцементное отношение — 0,55.

Для бетона той же марки, укладываемого в летних условиях, расход материалов на 1 м³ бетона составит:

цемент — 300 кг;
песок — 640 кг;
щебень — 1280 кг;
вода — 165 л.

Подвижность бетона 1—2 см по стандартному конусу.

Ввиду наличия добавок хлористых солей, являющихся хорошим пластификатором, уменьшаем количество воды на 10%.

Потребность воды на 1 м³ бетона:

$$165 \times 0,9 = 148,5 \text{ л.}$$

Количество воды в песке и щебне будет:

$$640 \times 0,03 + 1280 \times 0,015 = 38,4 \text{ л.}$$

Следовательно, требуемое количество воды для затворения 1 м³ бетона будет $148,5 - 38,4 = 110,1 \text{ л.}$

На 148,5 л воды при принятой дозировке солей требуется: хлористого натрия — $148,5 \times 0,06 = 8,92 \text{ кг}$; хлористого кальция — $148,5 \times 0,10 = 14,85 \text{ кг}$.

Для получения заданного количества соли необходимо взять принятого раствора хлористого натрия с удельным весом 1,15.

$$\frac{8,92}{0,200} = 44,6 \text{ кг, или } \frac{44,6}{1,15} = 39 \text{ л.}$$

То же — хлористого кальция при удельном весе 1,29:

$$\frac{14,85}{0,310} = 48 \text{ кг, или } \frac{48}{1,29} = 37,2 \text{ л.}$$

Содержание воды в растворе хлористого кальция:

$$48 - 14,85 = 33,1 \text{ кг.}$$

Содержание воды в растворе хлористого натрия:

$$44,6 - 8,92 = 35,7 \text{ кг.}$$

Общее количество воды в растворах:

$$33,1 + 35,7 = 68,8 \text{ кг или литра.}$$

С учетом влажности песка и гравия на 1 м^3 бетона требуется долить $110,1 - 68,8 = 41,3$ литра.

Окончательный расход материалов 1 м^3 бетона для зимних условий, с химическими добавками, с учетом влажности материалов составит: цемент — 300 кг;

песок — 660 кг;

щебень — 1300 кг;

раствор NaCl с удельным весом 1,15 — 44,6 кг;

раствор CaCl₂ с удельным весом 1,29 — 48 кг;

вода — 41,3 л;

водоцементное отношение — 0,5.

Ниже приводятся:

а) таблица с показателями удельного веса растворов хлористого кальция и хлористого натрия, с содержанием безводных солей в литре и килограмме раствора, количество безводных солей на литр воды и температура замерзания растворов;

б) таблицы 1 и 2 к графикам 1 и 2, характеризующие нарастание прочности бетона с добавками хлористого кальция при разных условиях твердения.

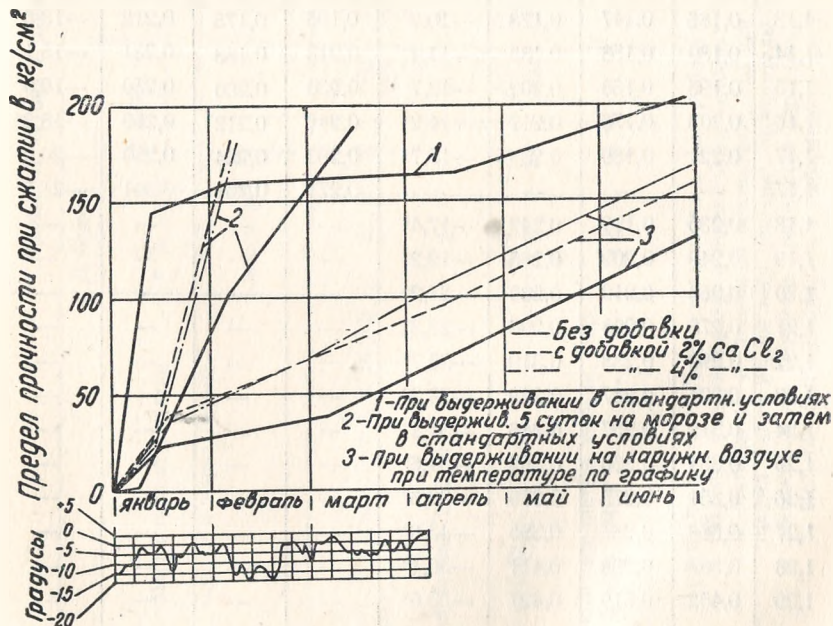


Рис. 2. График нарастания прочности бетона зимой на открытом воздухе.

Таблица 3

Удельный вес раствора при 15°	Содержание безводного CaCl ₂ в кг			Темпера- тура замерз. раствора	Содержание безводного NaCl в кг			Темпера- тура замерза- ния раствора
	в 1 л раствора	в 1 кг раствора	на 1 л воды		в 1 л раствора	в 1 кг раствора	на 1 л воды	
1,01	0,013	0,013	0,013	-0,6°	0,015	0,015	0,015	-0,9°
1,02	0,026	0,025	0,026	-1,2°	0,029	0,029	0,030	-1,8°
1,03	0,037	0,036	0,037	-1,8°	0,044	0,044	0,045	-2,6°
1,04	0,050	0,048	0,050	-2,4°	0,058	0,056	0,060	-3,5°
1,05	0,062	0,059	0,063	-3,0°	0,075	0,070	0,075	-4,4°
1,06	0,075	0,071	0,076	-3,7°	0,088	0,088	0,090	-5,4°
1,07	0,083	0,088	0,090	-4,4°	0,103	0,096	0,106	-6,4°
1,08	0,102	0,094	0,104	-5,2°	0,119	0,119	0,123	-7,5°
1,09	0,114	0,105	0,117	-6,1°	0,134	0,122	0,140	-8,6°
1,10	0,126	0,115	0,130	-7,1°	0,149	0,136	0,157	-9,8°
1,11	0,140	0,126	0,144	-8,1°	0,165	0,149	0,175	-11,0°
1,12	0,153	0,137	0,154	-9,1°	0,182	0,152	0,193	-12,2°
1,13	0,166	0,147	0,178	-10,2°	0,198	0,175	0,212	-13,6°
1,14	0,180	0,158	0,188	-11,4°	0,213	0,188	0,231	-15,1°
1,15	0,193	0,168	0,202	-12,7°	0,230	0,200	0,250	-16,0°
1,16	0,206	0,178	0,217	-14,2°	0,246	0,212	0,269	-18,2°
1,17	0,221	0,189	0,233	-15,7°	0,263	0,224	0,290	-20,0°
1,175	—	—	—	—	0,271	0,231	0,301	-21,2°
1,18	0,235	0,199	0,249	-17,4°	—	—	—	—
1,19	0,249	0,209	0,265	-19,2°	—	—	—	—
1,20	0,263	0,219	0,280	-21,2°	—	—	—	—
1,21	0,276	0,228	0,296	-23,3°	—	—	—	—
1,22	0,290	0,238	0,319	-25,7°	—	—	—	—
1,23	0,304	0,247	0,329	-28,3°	—	—	—	—
1,24	0,319	0,257	0,346	-31,2°	—	—	—	—
1,25	0,334	0,266	0,362	-34,6°	—	—	—	—
1,26	0,351	0,275	0,379	-38,6°	—	—	—	—
1,27	0,368	0,287	0,395	-43,6°	—	—	—	—
1,28	0,385	0,298	0,411	-50,1°	—	—	—	—
1,29	0,402	0,310	0,427	-55,6°	—	—	—	—

Прочность бетона с добавками хлористого кальция

Марка цемента, состав бетона и марка бетона	Добавки в % от веса цемента	Возраст образцов											
		1 день		3 дня		5 дней		7 дней		28 дней		3 месяца	
	Ремство сопоставленне сжатию в кг/см ²												
	кг/см ²	%	кг/см ²	%	кг/см ²	%	кг/см ²	%	кг/см ²	%	кг/см ²	%	
Цемент Волковьского 3-да марки «400»	0	6	100	74	100	116	100	149	100	267	100	283	100
	1	17	284	94	128	142	138	174	117	288	107	294	104
Состав бетона 1:2:4	2	31	517	129	173	163	138,4	214	144	307	116	325	117
$\frac{B}{C} = 0,62$	4	28	467	116	152	143	122	184	124	239	90	316	110
	8	30	500	122	163	134	116	141	96	248	92	256	90
Крупный заполнитель-щебень. Мар- ка бетона «240»	12	19	316	82	110	97	83	113	76	162	61	262	93

Примечание: 1. Для разных добавок CaCl₂ бралось по шести опытных образцов одного и того же состава бетона. Образцы выдерживались в нормальных условиях при температуре от 12° до 18°C.

2. Материалы исследований показывают, что при применении добавок в количестве, превышающем некоторый предел (около 2% от веса цемента), положительное влияние на нарастание относительной прочности уменьшается, абсолютная же прочность продолжает нарастать.

3. Испытания производились в лаборатории треста Автопромстрой.

Нарастание прочности бетона с добавкой CaCl_2 при разных отрицательных температурах

Состав бетона и марка цемента	Возраст в сутках	Средняя температура среды выдерживается	Предел прочности при сжатии в кг/см^2		
			Размер добавки в %		
			0	2	4
Бетон состава 1 : 2, 2 : 4, 8 $\frac{B}{C} = 0,58$ Цемент Волковысского завода марки «500» Кубики $10 \times 10 \times 10$	14	— 5°	26	48	67
		— 10°	14	24	32
Бетон состава 1 : 2 : 4 $\frac{B}{C} = 0,54$ Марка цемента «400»	14	— 5°	19	43	49
		— 10°	11	20	26

Бетоны, сразу замороженные на 5 дней, не потеряли в прочности; подвергнутые многократному и длительному замораживанию, уже теряли в своей прочности, но значительно меньше, чем без добавки.

Добавки в количестве 4% дают лучшие результаты, чем 2%.

Вместе с тем добавки 2—4% при температуре ниже 8—9° не обеспечивают прочности, необходимой для распалубки конструкции зимой.