



ЦЕЛЬЮ ДАННОЙ ЛЕКЦИИ ЯВЛЯЕТСЯ В ПРЕДВЕРИИ  
НАСТУПЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО СЕЗОНА НАПОМНИТЬ  
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОМУ ПЕРСОНАЛУ, СВЯЗАННОМУ С  
БЕТОНИРОВАНИЕМ О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ТВЕРДЕНИЯ  
БЕТОНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИХ РАБОТ.


# Факторы, влияющие на набор прочности бетона



Свойства компонентов бетона (качество щебня, песка, цемента и т.д.)







Состав бетона (соотношение щебня и песка, количество цемента и воды)



Условия приготовления (точное дозирование компонентов, необходимое время перемешивания и время доставки)



Условия твердения



Контроль данных факторов возложен на изготовителя бетонной смеси. Потребитель при осуществлении входной контроль готовой бетонной смеси по таким показателям качества, как удобоукладываемость, средняя плотность, объем вовлеченного воздуха и прочность на сжатие в промежуточном и проектном возрасте.

Целиком и полностью зависит от производителя работ

## Влияние температуры окружающей среды на интенсивность набора прочности бетона



| Срок твердения, суток | Среднесуточная температура бетона, °C        |    |    |     |     |     |
|-----------------------|--|----|----|-----|-----|-----|
|                       | -3   | 0  | +5 | +10 | +20 | +30 |
|                       | прочность бетона на сжатие, % от 28-суточной |    |    |     |     |     |
| 1                     | 3  | 5  | 9  | 12  | 23  | 35  |
| 2                     | 6  | 12 | 19 | 25  | 40  | 55  |
| 3                     | 8  | 18 | 27 | 37  | 50  | 65  |
| 5                     | 12   | 28 | 38 | 50  | 65  | 80  |
| 7                     | 15   | 35 | 48 | 58  | 75  | 90  |
| 14                    | 20   | 50 | 62 | 72  | 90  | 100 |
| 28                    | 25   | 65 | 77 | 85  | 100 | -   |

При понижении температуры и влажности воздуха твердение бетонов резко замедляется. На левом рисунке приведен график нарастания прочности бетона при различной температуре. Так прочность бетона в возрасте 3 суток, например, составляет при твердении при 5°C 27% от  $R_{28}$ , а при 30°C – 65% от  $R_{28}$ , т.е. в два раза выше. Следует обратить внимание, что нормальными условиями твердения считаются температура  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительная влажность воздуха  $(95 \pm 5)\%$ . Именно при таких условиях хранятся контрольные образцы бетона (они же «кубики») при определении качества самой бетонной смеси (не конструкции!).

## Как Пример

Так, в нашем случае, при бетонировании мостовых сооружений и путепроводов, помимо прочности бетона в проектном возрасте (28 сут.), нормативными документами регламентируется распалубочная прочность

Согласно п.5.17.8 табл. 5.11 СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции»

Минимальная прочность бетона незагруженных монолитных конструкций при распалубке поверхностей:

вертикальных из условия сохранения формы

0,5 МПа

горизонтальных и наклонных при пролете:

до 6 м

70% проектной

свыше 6 м

80% проектной

Минимальная прочность бетона при распалубке загруженных конструкций, в том числе от вышележащего бетона (бетонной смеси)

Определяется ППР и согласовывается с проектной организацией

При этом ни в одной нормативной документации не установлено за какие сроки должен набирать бетон эти 70%. Но, исходя из графика набора прочности, понимаем, что при условиях твердения бетона в нормальных условиях, набор 70% произойдет на 7 сутки. А при условиях твердения при температуре 30°C, на 5 сутки. Таким образом, владея данной информацией, можно влиять на сроки распалубочной прочности. Особенно актуален данный вопрос в зимнее время.



- Поэтому при бетонировании массивных сооружений, особенно в весенне-осенний период, необходимо учитывать колебания температуры и ее влияние на твердение бетона. При этом необходимо учитывать, что темп нарастания прочности бетона постепенно замедляется и его окончательная прочность будет зависеть от того, в каком возрасте происходят те или иные колебания температуры. Поэтому большое значение для твердения бетона имеет организация ухода за ним, особенно в раннем возрасте (в первые 14 дней). Целью ухода является создание благоприятных условий для твердения бетона, сохранение надлежащей влажной среды. Так при быстром высыхании бетона в раннем возрасте возникают значительные деформации усадки, появляются микротрещины. В результате ухудшается структура бетона, снижается его конечная прочность. Также следует предохранять поверхности свежеложенного бетона от попеременного увлажнения и высыхания, что приводит к образованию волосных трещин или растрескиванию поверхности.

# Мероприятия, способные поддерживать нормальные условия твердения бетона

СОСТАВ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОЗДАНИЮ БЛАГОПРИЯТНЫХ ТЕПЛО-ВЛАЖНОСТНЫХ УСЛОВИЙ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА ЗАВИСИТ ОТ ВРЕМЕНИ ГОДА

ПРИ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА ГЛАВНОЕ В УХОДЕ ЗА БЕТОНОМ — ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ИСПАРЕНИЯ ВЛАГИ ИЗ БЕТОННОЙ СМЕСИ И ВОСПОЛНЕНИЕ ПОТЕРЬ ВЛАГИ ОТ ИСПАРЕНИЯ:

- УКРЫТИЕ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКОЙ ИЛИ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОЙ БУМАГОЙ (ЗАЩИТА ОТ ИСПАРЕНИЯ ВЛАГИ);
- УСТРОЙСТВО ВЛАГОЕМКОГО ПОКРЫТИЯ И ЕГО УВЛАЖНЕНИЯ (НАПРИМЕР, ПОСЫПКА ПОВЕРХНОСТИ БЕТОНА ПЕСКОМ ИЛИ ОПИЛКАМИ, С ПОСТОЯННЫМ ИХ УВЛАЖНЕНИЕМ);
- ВЫДЕРЖИВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ БЕТОНА ПОД СЛОЕМ ВОДЫ;
- НЕПРЕРЫВНОЕ РАСПЫЛЕНИЯ ВЛАГИ НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ КОНСТРУКЦИЙ (УВЛАЖНИТЕЛИ ВОЗДУХА);
- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТОВ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА (ЗАЩИТА ОТ ИСПАРЕНИЯ, А ТАКЖЕ УТЕПЛЕНИЕ БЕТОНА);
- ИЛИ ИСПОЛЬЗУЮТ ДРУГИЕ СПОСОБЫ, ПРЕДОХРАНЯЮЩИЕ БЕТОН ОТ ВЫСЫХАНИЯ, ЧТОБЫ ИЗБЕЖАТЬ ЗАМЕДЛЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ГИДРАТАЦИИ ЦЕМЕНТА И НАБОРА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА.
- ОБОГРЕВ БЕТОНА В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ;
- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ТЕПЛЯКАХ СОСУДОВ С ВОДОЙ;

ПРИ ЭТОМ ЗАПРЕЩЕНО:

- НАПРАВЛЯТЬ ТЕПЛОВЫЕ ПУШКИ НА БЕТОН!
- ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ПОЛИВ ВОДОЙ ОТКРЫТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТВЕРДЕЮЩИХ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НЕ ДОПУСКАЕТСЯ. (СП 70.13330.20)

**Уход за свежеложенным бетоном следует начинать сразу после окончания укладки бетонной смеси и осуществлять до достижения 70% проектной прочности.**

# ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

- ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ БЕТОНА НИЖЕ 0 С, ТВЕРДЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИ ПРЕКРАЩАЕТСЯ. БЕТОН, НАЧАВШИЙ ТВЕРДЕТЬ, А ЗАТЕМ ЗАМЕРЗШИЙ, ПОСЛЕ ОТТАИВАНИЯ ПРОДОЛЖАЕТ ТВЕРДЕТЬ В ТЕПЛОЙ СРЕДЕ. ЗАМЕРЗАНИЕ БЕТОНА В РАННЕМ ВОЗРАСТЕ ВЛЕЧЕТ ЗА СОБОЙ ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ ПОНИЖЕНИЕ ЕГО ПРОЧНОСТИ ПОСЛЕ ОТТАИВАНИЯ И В ДАЛЬНЕЙШЕМ (ПО СРАВНЕНИЮ С НОРМАЛЬНО ТВЕРДЕЮЩИМ БЕТОНОМ). ЭТО ОБЪЯСНЯЕТСЯ ТЕМ, ЧТО СВЕЖИЙ БЕТОН НАСЫЩЕН ВОДОЙ, КОТОРАЯ ПРИ ЗАМЕРЗАНИИ РАСШИРЯЕТСЯ И РАЗРЫВАЕТ СВЯЗИ МЕЖДУ ПОВЕРХНОСТЬЮ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ И СЛАБО ЗАТВЕРДЕВШИМ ЦЕМЕНТНЫМ КАМНЕМ. ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА ТЕМ БЛИЖЕ К НОРМАЛЬНОЙ, ЧЕМ ПОЗЖЕ БЕТОН БЫЛ ЗАМОРОЖЕН. КРОМЕ ТОГО, ИЗ-ЗА РАННЕГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ ЗНАЧИТЕЛЬНО УМЕНЬШАЕТСЯ СЦЕПЛЕНИЕ БЕТОНА СО СТАЛЬНОЙ АРМАТУРОЙ В ЖЕЛЕЗОБЕТОНЕ. БЕТОН, УКЛАДЫВАЕМЫЙ ЗИМОЙ, В СООТВЕТСТВИИ С СП 70.13330.2012 «НЕСУЩИЕ И ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ» ДОЛЖЕН ЗИМОЙ ЖЕ ПРИОБРЕСТИ ПРОЧНОСТЬ, ДОСТАТОЧНУЮ ДЛЯ РАСПАЛУБКИ, ЧАСТИЧНОЙ НАГРУЗКИ ИЛИ ДАЖЕ ДЛЯ ПОЛНОЙ ЗАГРУЗКИ СООРУЖЕНИЯ.

ПРИ ЛЮБОМ СПОСОБЕ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ БЕТОН СЛЕДУЕТ ПРЕДОХРАНИТЬ ОТ ЗАМЕРЗАНИЯ ДО ПРИОБРЕТЕНИЯ ИМ МИНИМАЛЬНОЙ (КРИТИЧЕСКОЙ) ПРОЧНОСТИ, КОТОРАЯ ОБЕСПЕЧИВАЕТ НЕОБХОДИМОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЮ ЛЬДА И СОХРАНЕНИЕ В ПОСЛЕДУЮЩЕМ ПРИ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ СПОСОБНОСТИ К ТВЕРДЕНИЮ БЕЗ ЗНАЧИТЕЛЬНОГО УХУДШЕНИЯ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ БЕТОНА. ЕСЛИ К БЕТОНУ ПРЕДЪЯВЛЯЮТСЯ ВЫСОКИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ И МОРОЗОСТОЙКОСТИ, ТО ЕГО СЛЕДУЕТ ПРЕДОХРАНЯТЬ ОТ ЗАМЕРЗАНИЯ ДО ДОСТИЖЕНИЯ БЛИЗКОЙ К МАРОЧНОЙ ПРОЧНОСТИ (ТАБЛИЦА), Т.К. ЗАМОРАЖИВАНИЕ ПРИ МИНИМАЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ, НЕ СКАЗЫВАЯСЬ ЗАМЕТНО НА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПРИ СЖАТИИ, МОЖЕТ НАРУШИТЬ ЕГО СТРУКТУРУ И УХУДШИТЬ ЭТИ ОСОБЫЕ СВОЙСТВА.

КРИТИЧЕСКОЙ НАЗЫВАЕТСЯ ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА, В % ОТ МАРОЧНОЙ, ПОСЛЕ ДОСТИЖЕНИЯ КОТОРОЙ БЕТОН МОЖЕТ БЫТЬ ЗАМОРОЖЕН БЕЗ СНИЖЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДРУГИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ТВЕРДЕНИЯ ПОСЛЕ ОТТАИВАНИЯ. (АКТУАЛЬНА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ)

согласно СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции»

| Параметр  | Величина параметра |
|---|--------------------|
| конструкций, подвергающихся по окончании выдерживания переменному замораживанию и оттаиванию в водонасыщенном состоянии или расположенных в зоне сезонного оттаивания вечномёрзлых грунтов при условии введения в бетон воздухововлекающих или газообразующих ПАВ | 80                 |
| для пролетных конструкций:  |                    |
| при пролете до 6 м  | 70                 |
| при пролете свыше 6 м   | 80                 |
| в преднапряженных конструкциях  | 80                 |
| для бетона с противоморозными добавками для классов:  |                    |
| до В15  | 30                 |
| до В25  | 25                 |
| В30 и выше  | 20                 |

Таблица 1 – Минимальная прочность, которую бетон должен приобрести к моменту заморозания



# СПОСОБЫ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ

Использование внутреннего запаса теплоты (применение быстротвердеющего цемента, ускорителей твердения цемента, подогрев исходных материалов)



Использование дополнительной подачи тепла извне ( метод термоса, электроподогрев, обогрев теплопушками и т.д.)



Минимальная температура бетонной смеси без противоморозных добавок при укладке в массивы должна быть не менее 5°C, в тонкие конструкции-не ниже 20°.

Согласно СП 46.13330.2012 «Мосты и трубы» введение в бетонную смесь добавок - ускорителей твердения бетона для сокращения сроков достижения бетоном требуемой прочности запрещается.

Способы зимнего бетонирования с применением противоморозных добавок прост и экономичен, но большое количество соли, вводимой в бетон, может ухудшить структуру, долговечность и некоторые особые свойства, вызвать коррозию арматуры. Так согласно СП 70.13330 для железобетонных конструкций с ненапрягаемой рабочей арматурой не допускаются к применению противоморозные добавки, содержащие хлориды!!! (нитрит натрия и поташ коррозии не вызывают) Применение бетона с противоморозными добавками запрещается в конструкциях: железобетонных предварительно напряженных; железобетонных, расположенных в зоне действия блуждающих токов или находящихся ближе 100 м от источников постоянного тока высокого напряжения; железобетонных, предназначенных для эксплуатации в агрессивной среде; в частях конструкций, находящихся в зоне переменного уровня воды.

