

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Специфика монтажа электрического провода в технологии прогрева бетона

М.О. Дудин¹, Ю.Г. Барабанщиков²

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 693.547.32 Научная статья	Подана в редакцию 9 апреля 2015 Принята 4 июня 2015	зимнее бетонирование, греющий провод, ПНСВ, бетон, нагревательный элемент, ELCUT, эффективность, рационализация

АННОТАЦИЯ

Монолитное строительство сталкивается с проблемами обеспечения необходимого температурного режима твердения и набора прочности бетона в зимнее время. Одной из технологий зимнего бетонирования является электропрогрев с применением греющего провода. В статье рассмотрена технология прогрева бетона электрическим проводом при зимнем бетонировании тонкостенных конструкций, определены критерии выбора оборудования и материалов для осуществления прогрева. Даны рекомендации по выбору нагревательных элементов и схем подключения, исходя из требований усовершенствования производства работ, оптимизации и рационального использования трудовых и материальных ресурсов, снижения времени дополнительных работ. В рамках работы произведена оценка рисков, сопутствующих технологии зимнего бетонирования с использованием греющего провода. В частности, выполнено моделирование в программной среде ELCUT аварийной ситуации обрыва нагревательного элемента на участке перекрытия.

Содержание

1. Введение	48
2. Обзор литературы	48
3. Постановка задачи	49
4. Выбор материала, оборудования и схемы прогрева	49
5. Оценка влияния неравномерности прогрева	55
6. Заключение	56

1

Контактный автор:

+7 (931) 264 9496, maxim6892@yandex.ru (Дудин Максим Олегович, студент)

2

+7 (812) 534 1286, ugb@mail.ru (Барабанщиков Юрий Германович, д-р техн. наук, профессор)

1. Введение

Возведение монолитных зданий и сооружений является ответственным предприятием строительной отрасли. Данное направление непрерывно развивается и в настоящее время строительство монолитных домов поставлено на поток. Производство бетонных работ осуществляется круглогодично. Сезонность строительства давно ликвидирована, однако, зимнее бетонирование сталкивается с проблемами обеспечения необходимых температурных условий для нормального твердения бетона.

Современные технологии зимнего бетонирования предлагают несколько методов производства работ:

- а) метод термоса;
- б) метод конвективного обогрева с устройством замкнутых контуров (тепляков);
- в) применение противоморозных добавок;
- г) использование термоактивной опалубки;
- д) паропрогрев;
- е) электропрогрев электродами;
- ж) электропрогрев с применением греющего провода;
- з) комбинированный метод.

Для тонкостенных конструкций с большой площадью поверхности охлаждения рекомендуется использовать прогрев греющим проводом. Бетонируемые конструкции характеризуют модулем поверхности, который представляет собой отношение площади поверхности охлаждения к объему бетона. Для перекрытий и стен с модулем поверхности более 6 прогрев электрическим проводом является часто наиболее экономичным и технологически рациональным решением [1].

В то же время, данный метод сопровождается сложными электротехническими расчетами и требует правильной укладки провода в конструкцию. Технология производства работ должна быть выбрана с учетом снижения трудоемкости работ, минимизации затрат, соблюдения температурного режима твердения бетона. Реализация данного метода осложнена подбором оптимальных значений длины и диаметра греющего провода, учетом возможной неравномерности его электрического сопротивления, выбором питающего напряжения и имеет риск обрыва провода при монтаже и бетонировании. В этих условиях важную роль играет компьютерное моделирование процессов прогрева.

Актуальность темы статьи обусловлена необходимостью монолитного строительства в суровых климатических условиях на территории России.

2. Обзор литературы

Развитие современного строительного производства тесно связано с научными разработками и инновациями в области совершенствования технологий и повышения эффективности бетонных работ [2]. Совершенствование технологии зимнего бетонирования связано с разработками советских и российских ученых. Различные методы прогрева бетона, разработанные отечественными специалистами НИИЖБ, описаны в трудах Крылова Б. А., Арбеньева А. С., Миронова С. А. [3-6].

Исследование бетона, твердеющего при отрицательных температурах, показало, что замораживание бетона, особенно в раннем возрасте, отрицательно сказывается на его свойствах. Бетон не твердеет в замороженном состоянии и не набирает проектную прочность после оттаивания. Несвязанная вода в бетоне превращается в лед и, расширяясь, нарушает структуру бетона, вызывая образование микротрещин [3,7-9]. При отрицательных температурах реакция гидратации цемента резко замедляется или совсем прекращается [10-12], при этом не работает внутренний источник тепла – экзотермия реакции.

Противоморозные добавки понижают температуру замерзания воды затворения и позволяют бетону набирать прочность при отрицательных температурах [13-16]. Однако этот процесс слишком медленный для того, чтобы обойтись без применения прогрева бетона. Стандартное время набора проектной

прочности бетона – 28 суток при твердении в нормальных условиях (при температуре воздуха 20 °С и влажности не ниже 95 %). Пониженные и отрицательные температуры воздуха, сказываясь на скорости твердения, нарушают график производства работ и замедляют темпы строительства.

При бетонировании тонкостенных конструкций в зимнее время необходимо подведение тепла от внешнего источника. Существуют различные технологии прогрева бетона, рассмотренные в статьях современных исследователей [17-20]. В данной работе рассматривается метод электропрогрева с использованием греющего провода, укладываемого в конструкцию перед бетонированием. Такой метод широко применяется в монолитном строительстве [1, 18, 21].

Существует достаточное число работ, посвященных исследованиям в области технологии зимнего бетонирования с применением нагревательного провода, в которых даются рекомендации по совершенствованию технологии, оптимизации затрат, рациональному использованию ресурсов [18, 21, 22]. Рассматривается техника контроля температуры бетона, являющегося важным аспектом при термической обработке [23-26]. Имеются также методические указания по подбору оборудования и нагревательных элементов [1, 27]. В то же время недостаточно исследован вопрос выбора параметров прогрева бетона греющим проводом.

3. Постановка задачи

Цель данной работы – установить критерии выбора оборудования и материалов для осуществления прогрева греющим проводом тонкостенных железобетонных конструкций, выполнить расчет оптимального способа электропрогрева, оценить риски неравномерности прогрева и несоблюдения температурного режима набора прочности бетона из-за обрыва нагревательного элемента.

Анализ технологии электропрогрева производится на примере бетона монолитного перекрытия толщиной 200 мм.

4. Выбор материала, оборудования и схемы прогрева

Метод электропрогрева основан на выделении тепла проводником с большим сопротивлением при прохождении через него электрического тока. В качестве нагревательного элемента используется провод ПНСВ. Данный провод состоит из стальной жилы в ПВХ оболочке. Стальные жилы изготавливаются с различными диаметрами, наиболее часто применяются в строительстве и присутствуют в продаже провода ПНСВ с диаметрами жил 1,2, 2,0, 3,0 мм. Чем больше диаметр, тем меньше удельное сопротивление проводника.

В технологии электропрогрева рекомендуется рассчитывать провод ПНСВ так, чтобы мощность тепловыделения была 30-35 Вт/м для армированных конструкций и 35-40 Вт/м для неармированного бетона. Мощность прогрева равна электрической мощности нагревательного элемента, так как вся электрическая энергия преобразуется в тепловую. Мощность прогрева рассчитывается по известной формуле:

$$P = \frac{U^2}{R}, \quad (1)$$

где P – мощность прогрева (Вт);
U – напряжение источника тока (В);
R – сопротивление нагревательного элемента (Ом).

Прогрев осуществляется с использованием трансформаторов или специальных станций прогрева бетона. Станции прогрева позволяют изменять выходное напряжение ступенями. При напряжении питания 220 В, на выходе можно получать напряжение в пределах 35-90 В. Понижение напряжения необходимо для обеспечения безопасности прогрева и уменьшения монтажной длины нагревательного элемента.

Расчет монтажной длины элемента согласно методике [27] выполняется по формуле:

$$l = \sqrt{\frac{v^2 \cdot S}{p \cdot \rho_t}}, \quad (2)$$

где l – длина проводника (м);
 S – площадь поперечного сечения жилы (мм^2);
 p – оптимальная погонная нагрузка (Вт/м);
 ρ_t – удельное сопротивление жилы при рабочей температуре ($\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$).

Следует отметить, что удельное сопротивление токопроводящей жилы изменяется при нагреве, соответственно, общее сопротивление жилы в процессе нагрева также изменяется. В расчете учитывается сопротивление провода при рабочей температуре прогрева и соответствующей ей погонной нагрузке на провод. Сопротивление жилы, приведенное к 1 погонному метру длины нагревателя при рабочей температуре, рассчитывается по формуле:

$$R_t = \frac{p_t}{S}, \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2) получаем:

$$l = \sqrt{\frac{v^2}{p \cdot R_t}} \quad (4)$$

По опытным данным методики [27] можно принимать сопротивление жилы исходя из таблицы 1.

Таблица 1. Зависимость сопротивления стальной жилы различного сечения от погонной нагрузки из методических рекомендаций [27]

Диаметр токонесущей стальной жилы, мм	Электрическое сопротивление токонесущей жилы R_t (Ом·м) при погонной нагрузке на провод (Вт/м)							
	10	15	20	25	30	35	40	50
1,2	0,170	0,181	0,194	0,210	0,222	0,235	0,240	0,259
2,0	0,059	0,064	0,068	0,072	0,076	0,082	0,085	0,089
3,0	0,032	0,034	0,035	0,036	0,037	0,0375	0,038	0,039

Напряжение электрического тока в нагревательных элементах можно изменять путем переключения режимов прогрева на станциях прогрева бетона, а также изменением схем подключения проводов к ним. Существует 2 принципиальные схемы подключения: «треугольник» и «звезда».

В схеме подключения «треугольник» провода разделяются на 3 группы с одинаковым количеством проводов, провода в группе соединяются параллельно. Три набора проводов соединяют концами в 3 узла, а выводы от них подключают к выходным зажимам трансформаторной подстанции. Каждый провод в группе, называемый «ниткой», находится под линейным выходным напряжением станции прогрева.

В схеме подключения «звезда» провода объединяются в «тройки», состоящие из 3 нагревателей одинаковой длины. Одним концом провода закрепляются в узел, вторые концы нагревателей подключаются к выходным зажимам станции прогрева. Каждый провод «тройки» находится под фазным напряжением трансформатора, которое меньше линейного в 1,73 раза.

Более наглядно схемы подключения представлены на рис. 1.

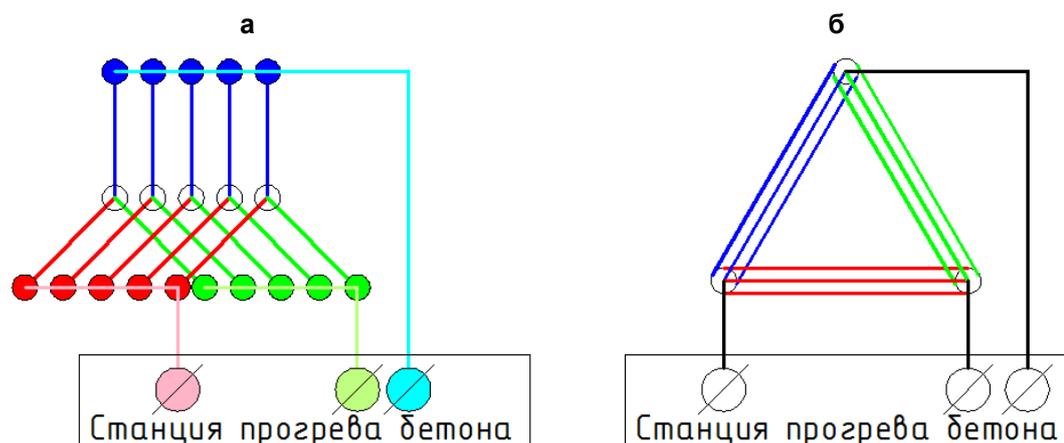


Рисунок 1. Схемы подключения нагревательных элементов к станции прогрева бетона:
а - схема «звезда»; б - схема «треугольник»

Технология прогрева предусматривает использование провода ПНСВ, находящегося непосредственно внутри бетона. На воздухе провод ПНСВ перегорает, поэтому включение питания разрешается производить только после полной укладки бетонной смеси и отсутствия контакта проводов с воздушной средой.

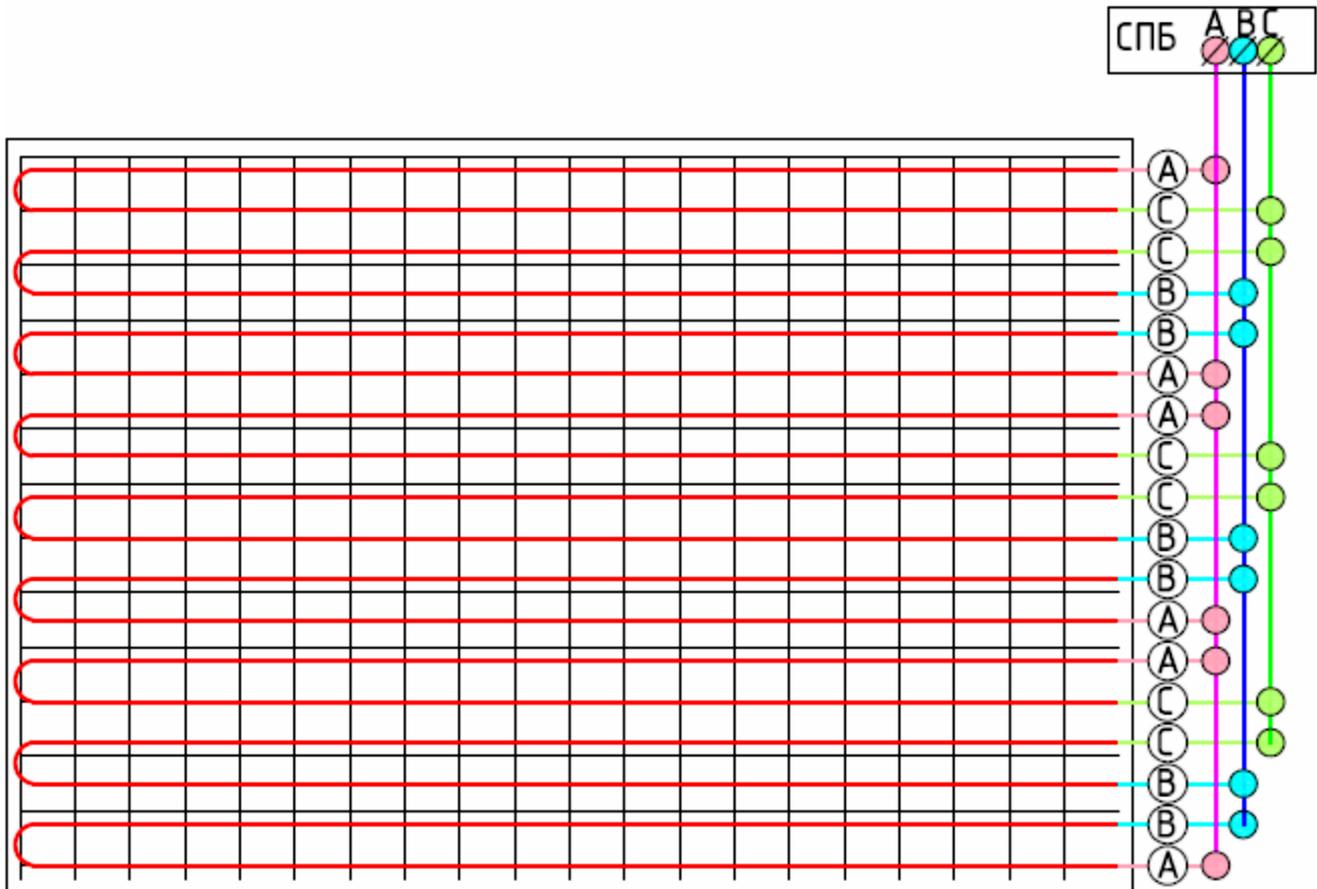
При монтаже провода ПНСВ нагревательные элементы оснащаются «холодными концами» из провода АПВ-4. Использование данного провода позволяет фиксировать наличие тока по небольшому нагреву «холодных концов». Их выводы соединяют с проводами СИП, которые служат магистралями от трансформаторов до нагревателей.

Шаг нагревателей выбирается согласно расчетам или с помощью компьютерного моделирования в среде ELCUT. Как правило, расстояние между проводами ПНСВ выбирается из интервала 100-300 мм в один или два ряда по высоте. Часто шаг укладки выбирается кратным шагу армирования для удобства монтажа провода.

С целью упрощения работ и снижения трудоемкости рекомендуется укладывать провод одновременно с выполнением армирования. При армировании в два слоя укладку провода в конструкцию выполнять до монтажа второго слоя арматурных сеток и стержней. При производстве последующих арматурных работ избегать повреждения провода, не производить резку и сварку арматуры над проводом из-за риска повреждения изоляции и целостности нагревателей.

Схемы укладки проводов и длины отрезков принимать для каждой конструкции индивидуально.

Схемы укладки провода в плите перекрытия показаны на рис. 2-3.



Условные обозначения

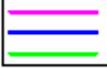
-  - греющий провод ПНСВ
-  - "холодные концы из провода АПВ-4 от нагревателей до магистральных проводов А, В, С
-  - места подсоединения к магистральным проводам
-  - магистральные провода СИП от "холодных концов" до станции прогрева бетона
-  - станция прогрева бетона с выходными зажимами А, В, С.

Рисунок 2. Монтаж провода для прогрева перекрытия при подключении по схеме «треугольник»

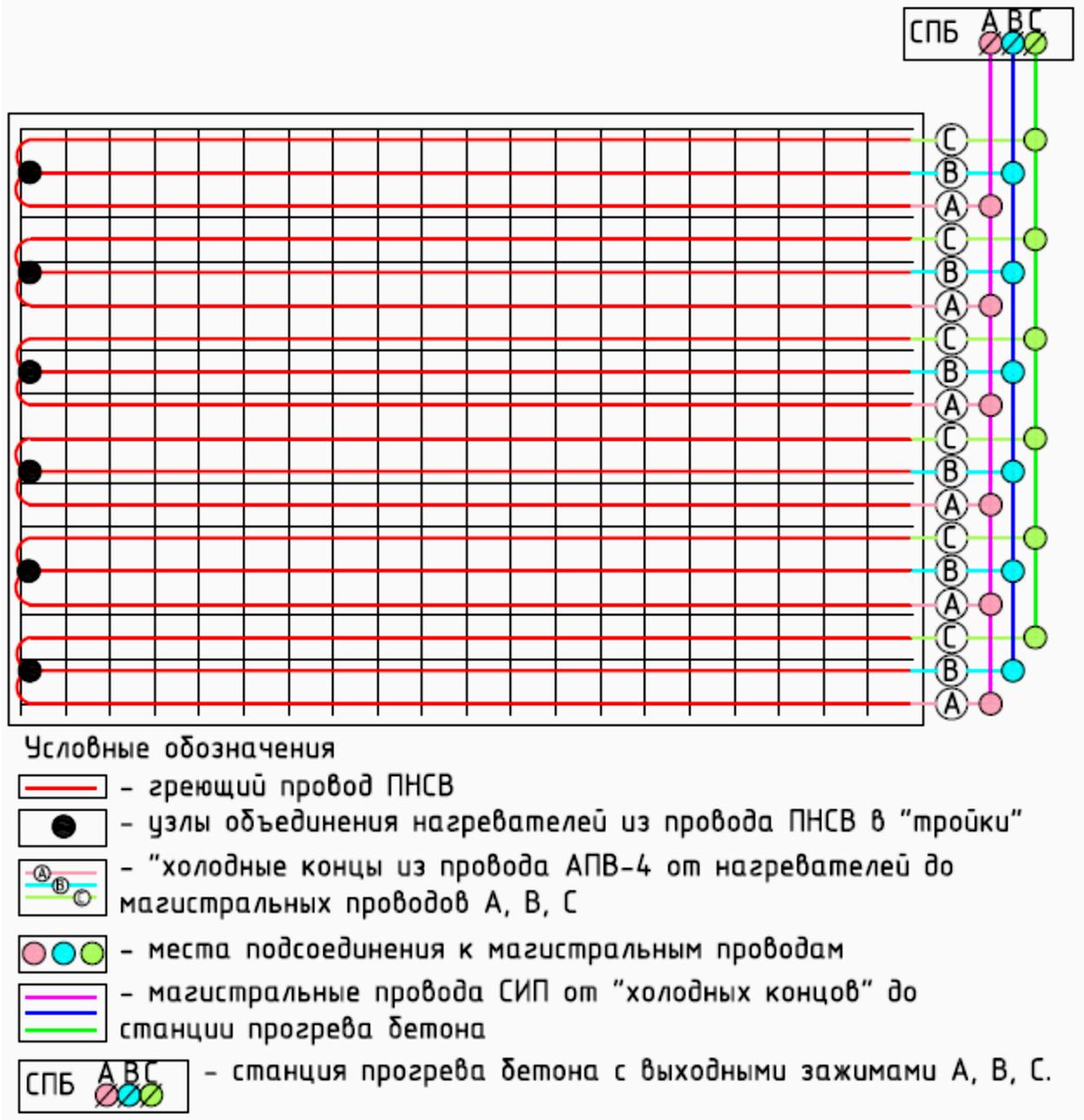


Рисунок 3. Монтаж провода для прогрева перекрытия при подключении по схеме «звезда»

По данным табл. 1 составим таблицу длин нагревательных элементов для различных диаметров стальной жилы в зависимости от выходного напряжения тока трансформатора, схемы подключения и погонной нагрузки на провод 35 Вт/м.

Таблица 2. Расчет оптимальной длины нагревателя

Расчет длины нагревателя из провода ПНСВ в зависимости от диаметра жилы, напряжения выходного тока трансформатора и схемы подключения									
Диаметр токопроводящей жилы, мм	Rt, Ом·м, при P=35 Вт/м	Напряжение тока прогрева бетона, В							
		Схема подключения "треугольник"				Схема подключения "звезда"			
		60	80	85	95	34,7	46,2	49,1	54,9
Оптимальная длина нагревателя из ПНСВ, м									
1,2	0,235	20,92	27,89	29,64	33,12	12,09	16,12	17,13	19,15
2,0	0,0820	35,42	47,22	50,17	56,08	20,47	27,30	29,00	32,41
3,0	0,0375	52,37	69,83	74,19	82,92	30,27	40,36	42,89	47,93

Анализируя табл. 2 можно сделать следующие выводы:

1. Оптимальная длина нагревателя варьируется от 12 до 83 м, что дает широкий выбор схем подключения и оптимизации укладки провода в бетонируемую конструкцию;

2. Чем тоньше сечение провода, тем короче должна быть длина нагревателя для соблюдения требования по погонной нагрузке на провод. Выбор провода ПНСВ диаметром 1,2 мм должен быть обусловлен не только дешевизной товара (чем тоньше провод, тем дешевле), но и размерами конструкции.

3. ПНСВ ϕ 1,2 мм оптимален для прогрева стен, так как монтажная длина провода ограничивается только высотой стены. Провод укладывается вдоль вертикальных стержней армирования стен несколькими петлями. Данный провод можно также использовать при прогреве сравнительно небольших по длине конструкций (16,5 м при подключении схемой «треугольник» и 19 м при подключении схемой «звезда»).

4. Провод ПНСВ диаметром 3 мм имеет наибольшую монтажную длину в связи с меньшим удельным сопротивлением провода. Данный тип провода можно порекомендовать в качестве нагревателя при большой площади обогреваемой конструкции. При крупных блоках бетонирования использование данного провода зачастую является единственным возможным решением, так как он позволяет перекрывать большие площади прогрева с одной точки подключения (41 м при подключении треугольником и 47 м при подключении звездой).

5. В случае малогабаритных конструкций или небольших участков бетонируемых стен, перекрытий, колонн, балок, площадок большая монтажная длина провода ПНСВ ϕ 3,0 мм при той же мощности обуславливает увеличение числа петель и, соответственно, более равномерный обогрев бетона, однако, повышает трудоемкость укладки провода. Использование длинных нагревателей снижает количество выводов и монтажных кабелей, прокладываемых от нагревательных элементов до трансформаторных подстанций, и дает определенную экономию. При повреждении провода значительная площадь бетонируемой конструкции лишается прогрева, что может вызывать неравномерные деформации и/или промерзание бетона.

6. Провод ПНСВ ϕ 2,0 мм является промежуточным вариантом, сочетающим преимущества и недостатки проводов диаметром 1,2 и 3,0 мм.

7. Схема подключения «звезда» позволяет сократить в 1,73 раза длину проводника. Данную схему рекомендуется применять только при прогреве перекрытий в связи с особенностями подключения. В случаях, когда длина прогреваемой конструкции равна длине нагревателя не требуется устройства петель. Отсутствие петель снижает трудоемкость, однако использование коротких нагревателей увеличивает количество выводов и подключений концов к зажимам трансформаторной подстанции. При

возможном случайном обрыве или перегорании провода из электрической схемы выпадает одна нитка нагревателя в то время, как остальные продолжают работать. Участок конструкции в зоне обрыва перестает получать тепло от оборванного провода, но теплота от соседних нагревателей предотвратит промерзание конструкции.

8. Выбор питающего напряжения зависит от длины проводника и типа станции прогрева. Чем больше длина, тем выше при данной мощности должно быть напряжение. Однако повышение температуры бетона и, соответственно, напряжения должно происходить постепенно (обычно ступенчато), например, последовательно используя ступени – 35, 45 и 60 В, что обеспечит плавный выход на расчетную мощность, которая будет обеспечиваться при 60 В в течение необходимого времени. Приведенные в табл. 2 значения длин проводов рассчитаны на рабочее напряжение 60 В.

9. Суммарная мощность прогрева бетона нагревателями ПНСВ в кВт определяет выбор оборудования (станции прогрева бетона, трансформаторы).

5. Оценка влияния неравномерности прогрева

В случае отключения нагревательного элемента вследствие повреждения или обрыва провода некоторая площадь бетонной конструкции остается без внешнего источника тепла. Неравномерный прогрев опасен промерзанием частей конструкции, появлением трещин от перепадов температуры, недобором прочности бетона в связи с нарушением температурного режима твердения.

Ниже рассматривается случай обрыва нагревателей на участке бетонируемого перекрытия. Моделируется аварийная ситуация, при которой участок перекрытия в виде полосы шириной 1,5 метра не прогревается из-за повреждения проводов ПНСВ. В качестве среды моделирования выбран программный комплекс ELCUT. Распределение температурного поля в теле бетонируемой конструкции моделируется в данной программе по методикам и разработкам Л. В. Зиневич [28,29].

В качестве исходных данных принимаем следующие. Производится бетонирование монолитного перекрытия толщиной 200 мм при температуре окружающей среды -20°C . Применяется бетон класса В20. Прогрев осуществляется проводом ПНСВ с мощностью 35 Вт/м. Обрыв провода в модели выполнен на участке шириной в 1,5 метра.

Программный комплекс позволяет получить картину распределения температурных полей в сечении перекрытия. Теплофизические характеристики материалов взяты из базы программы. Расчет ведется с учетом тепловыделения бетона при твердении. Поверхность бетона утеплена листами вспененного полистирола, опалубка выполнена из фанеры. На рис. 4 продемонстрировано температурное поле с нарушениями равномерности прогрева спустя сутки после начала прогрева.

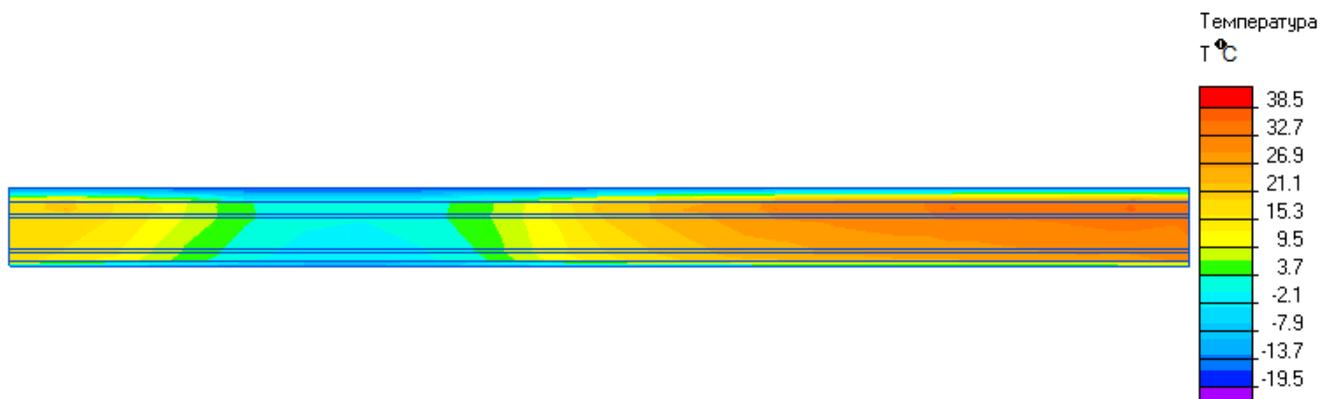


Рисунок 4. Промерзание бетона в непрогретой части конструкции

Как это видно из рис. 4, произошло промерзание бетона на всем аварийном участке, несмотря на утепление и наличие электропрогрева на периферии аварийного участка. Уже спустя 7 часов наблюдается появление стабильных отрицательных температур. Таким образом, гидратация цемента на

этом участке прекращается, и бетон не набирает необходимой прочности. При отсутствии противоморозных добавок вода превращаясь в лед, нарушает структуру бетона.

Чтобы исключить риск промерзания конструкции необходимо до бетонирования и во время прогрева проводить контроль состояния проводов. В случае обнаружения повреждения нагревателей в процессе монтажа или армирования замена провода не представляет трудностей. В случае перегорания провода ПНСВ во время твердения бетона или повреждения в процессе неаккуратной укладки бетонной смеси, ликвидация последствий потребует экстренных мер по аварийному поддержанию теплового режима: устройству тепляков, применению греющих матов, использованию электродного прогрева.

6. Заключение

Выработанные рекомендации по производству прогрева бетона в зимнее время включают в себя подбор параметров оборудования и источника тепла. Прогрев монолитных конструкций следует осуществлять с учетом их геометрических характеристик. В рамках работы произведено исследование по поиску путей оптимизации и рационализации технологии электропрогрева. Получены следующие результаты:

1. Сделан ряд выводов по подбору нагревательного элемента с точки зрения удобства монтажа и рациональной укладки в бетонируемую конструкцию;
2. Даны рекомендации по выбору схемы прогрева, способа монтажа и подключения нагревательных элементов к станции прогрева бетона;
3. Рассмотрены риски обрыва провода, смоделирована аварийная ситуация прекращения прогрева части конструкции. Показана недопустимость такого события и предложены пути предотвращения подобных обстоятельств.

Литература

- [1]. МДС 12-48.2009 «Зимнее бетонирование с применением нагревательных проводов».
- [2]. Лазарев Ю.Г., Синицына Е.Б. Современное состояние проблемы совершенствования транспортной инфраструктуры // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2013. № 4 (26). С. 71-74.
- [3]. Крылов Б.А. Монолитное строительство, его состояние и перспективы совершенствования // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2012. № 4 (159). С. 35-38.
- [4]. Арбенев А. С. Зимнее бетонирование с электроразогревом смеси. М.: Стройиздат, 1970, 130с.
- [5]. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1975. – 700 с
- [6]. Головнев С. Г. Зимнее бетонирование: этапы становления и развития // Вестник Волгogr. гос. архит.-строит. Ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 31(50). Ч. 2. Строительные науки. С. 529—534.
- [7]. Jiří Zach, Martin Sedlmajer, Jitka Hroudova, Aleš Nevařil. Technology of Concrete with Low Generation of Hydration Heat // Procedia Engineering. № 65. 2013. Pp. 296 – 301.
- [8]. Zhu Bofang. Construction of Mass Concrete in Winter // Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete, 2014, Pp. 425-430
- [9]. Ayman Y. Nassif, Michael F. Petrou. Influence of cold weather during casting and curing on the stiffness and strength of concrete // Construction and Building Materials № 44, 2013, Pp.161–167.
- [10]. Ulku Sultan Yilmaza, Hakan Turkenb. The effects of various curing materials on the compressive strength characteristic of the concretes produced with multiple chemical admixtures. // Scientia Iranica A (2012) 19 (1), 77–83.
- [11]. Galina Fedorova, Vladimir Mestnikov, Olga Matveeva, Evgenye Nikolayev. Features of High-Strength Concrete Creation for Concreting of Monolithic Constructions in the Far North Conditions // Procedia Engineering. № 57. 2013. Pp. 264-269.
- [12]. Essam A. Kishar, Doaa A. Ahmed, Maha R. Mohammed, Rehab Noury. Effect of calcium chloride on the hydration characteristics of ground clay bricks cement pastes // Beni - suef university journal of basic and applied sciences. 2013. №2. Pp. 20-30.
- [13]. Невелева Н.И., Шатов А.Н. Противоморозные добавки для бетонов // Гидротехника. 2009. № 1. С. 84-86.
- [14]. Толкынбаев Т.А., Головнев С.Г., Торпищев Ш.К. Добавка для зимнего бетонирования монолитных сооружений // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Т. 13. № 2. С. 34-37.
- [15]. Ramazan Demirboğa, Fatma Karagöl, Rıza Polat, Mehmet Akif Kaygusuz. The effects of urea on strength gaining of fresh concrete under the cold weather // Construction and Building Materials, № 64. 2014. Pp 114-120.
- [16]. Fatma Karagöl, Ramazan Demirboğa, Mehmet Akif Kaygusuz, Mehrzad Mohabbi Yadollahi, Rıza Polat. The influence of calcium nitrate as antifreeze admixture on the compressive strength of concrete exposed to low temperatures // Cold Regions Science and Technology. № 89. 2013. Pp. 30-35.
- [17]. Вальт А.Б., Овчинников А.А. Способы термообработки бетона при возведении монолитных конструкций // Известия Калининградского государственного технического университета. 2008. № 13. С. 109-112.
- [18]. Корытов Ю.А. Зимнее бетонирование с применением нагревательных проводов // Механизация строительства. 2010. № 3. С. 14-20.
- [19]. Сысоев А.К. Технология зимнего бетонирования с помощью гибких нагревательных элементов // Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 27. № 4. С. 279.
- [20]. Золотухин С.Н., Горюшкин А.Н. Бетонирование при отрицательных температурах // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2012. № 1. С. 81-85.
- [21]. Овчинников А.А. Вальт А.Б. Анализ факторов, влияющих на электротермообработку монолитного железобетона с использованием греющих проводов // Известия Калининградского государственного технического университета. 2009. № 15. С. 120-122.
- [22]. Шувалов Н.А., Байбурин А.Х. Исследование отклонений технологических параметров зимнего бетонирования (на примере монолитных конструкций колонн). Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. Т. 14. № 2. С. 18-20.

- [23]. Жуков Н. Н., Комиссаров С. В. Система температурно-прочностного контроля бетона в раннем возрасте // Вестник МГСУ, №4. 2010. Т.5 с.296-301
- [24]. К.В. Семенов, Ю.Г. Барабанщиков. Термическая трещиностойкость массивных бетонных фундаментных плит и ее обеспечение в строительный период зимой // Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 2 (17). 2014. С. 125-135.
- [25]. Zhu Bofang. Temperature Control of Concrete Dam in Cold Region // Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete. 2014. Pp. 431-438.
- [26]. Peter Paulik. The Effect of Curing Conditions (In Situ vs. Laboratory) on Compressive Strength Development of High Strength Concrete // Procedia Engineering № 65, 2013, Pp. 113 – 119.
- [27]. Методические рекомендации по применению нагревательных проводов и кабелей при выполнении общестроительных работ в зимних условиях. М., 1986, 88с.
- [28]. Зиневич Л.В. Применение численного моделирования при проектировании технологии обогрева и выдерживания бетона монолитных конструкций. // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 2. С. 24-28.
- [29]. Дудин М. О., Ватин Н. И., Барабанщиков Ю. Г. Моделирование набора прочности бетона в программе ELCUT при прогреве монолитных конструкций проводом // Инженерно-строительный журнал. 2015. №2. С. 33-45.

Specificity of wiring into technology of heating concrete

M.O. Dudin¹, Y.G. Barabanshchikov²

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.

ARTICLE INFO

Scientific article

Article history

Received 9 April 2015
Accepted 4 June 2015

Keywords

winter concreting,
heating conductor,
concrete,
modeling,
ELCUT,
efficiency

ABSTRACT

Monolithic construction has problems in field of providing with needful temperature conditions of hardening and development of strength concrete in winter. One of technologies of winter concreting is electric curing with using heating conductor. Technology of heating concrete by wire during winter concreting of thin-walled constructions was explored in article. Authors give guidance for selections of heating conductors, materials and mechanisms, wiring plan with the aim of improvement and optimisation in concreting technology. Analysis of risks in technology of winter concreting with using heating conductor was made. Modeling of emergency of open conductors on area of monolithic floor was produced.

1

Corresponding author:

+7 (931) 264 9496, maxim6892@yandex.ru (Dudin Maksim Olegovich, Student)

2

+7 (812) 534 1286, ugb@mail.ru (Barabanshchikov Yuriy Germanovich, Ph.D., Professor)

References

- [1]. MDS 12-48.2009 «Zimneye betonirovaniye s primeneniym nagrevatelnykh provodov» [Methodical documentation in construction 12-48.2009 "Winter concreting with the use of heating wires"] (rus)
- [2]. Lazarev Yu.G., Sinitsyna Ye.B. *Sovremennoye sostoyaniye problemy sovershenstvovaniya transportnoy infrastruktury* [The current state of the problem of improving transport infrastructure] // *Tekhniko-tehnologicheskiye problemy servisa*. № 4 (26), 2013, Pp. 71-74. (rus)
- [3]. Krylov B.A. *Monolitnoye stroitelstvo, yego sostoyaniye i perspektivy sovershenstvovaniya* [Monolithic building, its condition and prospects of improvement] // *Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*. 2012. № 4 (159). Pp. 35-38. (rus)
- [4]. Arbenyev A. S. *Zimneye betonirovaniye s elektrorazogrevom smesi*. [Winter concreting with electrowarming mixture] M.: Stroyizdat, 1970, 130p. (rus)
- [5]. Mironov S.A. *Teoriya i metody zimnego betonirovaniya*. [Theory and methods of winter concreting] – 3-ye izd. pererab. i dop. – M.: Stroyizdat, 1975. – 700p. (rus)
- [6]. Golovnev S. G. *Zimneye betonirovaniye: etapy stanovleniya i razvitiya* [Winter concreting: stages in the development] // *Vestnik Volgogr. gos. arkhitekt.- stroit. Un-ta. Ser.: Str-vo i arkhitekt.* 2013. №. 31(50). Part 2. *Stroitelnyye nauki*. Pp. 529—534. (rus)
- [7]. Jiří Zach, Martin Sedlmajer, Jitka Hroudová, Aleš Nevařil. Technology of Concrete with Low Generation of Hydration Heat // *Procedia Engineering*. № 65. 2013. Pp. 296 – 301.
- [8]. Zhu Bofang. Construction of Mass Concrete in Winter // *Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete*, 2014, Pp. 425-430
- [9]. Ayman Y. Nassif, Michael F. Petrou. Influence of cold weather during casting and curing on the stiffness and strength of concrete // *Construction and Building Materials* № 44, 2013, Pp.161–167.
- [10]. Ulku Sultan Yilmaza, Hakan Turkenb. The effects of various curing materials on the compressive strength characteristic of the concretes produced with multiple chemical admixtures. // *Scientia Iranica A* (2012) 19 (1), Pp.77–83.
- [11]. Galina Fedorova, Vladimir Mestnikov, Olga Matveeva, Evgenye Nikolayev. Features of High-Strength Concrete Creation for Concreting of Monolithic Constructions in the Far North Conditions // *Procedia Engineering*. № 57. 2013. Pp. 264-269.
- [12]. Essam A. Kishar, Doaa A. Ahmed, Maha R. Mohammed, Rehab Noury. Effect of calcium chloride on the hydration characteristics of ground clay bricks cement pastes // *Beni - suef university journal of basic and applied sciences*. 2013. №2. Pp. 20-30.
- [13]. Neveleva N.I., Shatov A.N. *Protivomoroznyye dobavki dlya betonov* [Antifreeze additives for concrete] // *Gidrotekhnika*. 2009. № 1. Pp. 84-86. (rus)
- [14]. Tolkynbayev T.A., Golovnev S.G., Torpishchev Sh.K. *Dobavka dlya zimnego betonirovaniya monolitnykh sooruzheniy* [Additive for winter concreting of monolithic structures] // *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitelstvo i arkhitektura*. 2013. Vol. 13. № 2. Pp. 34-37. (rus)
- [15]. Ramazan Demirboğa, Fatma Karagöl, Rıza Polat, Mehmet Akif Kaygusuz. The effects of urea on strength gaining of fresh concrete under the cold weather // *Construction and Building Materials*, № 64. 2014. Pp 114-120.
- [16]. Fatma Karagöl, Ramazan Demirboğa, Mehmet Akif Kaygusuz, Mehrzad Mohabbi Yadollahi, Rıza Polat. The influence of calcium nitrate as antifreeze admixture on the compressive strength of concrete exposed to low temperatures // *Cold Regions Science and Technology*. № 89. 2013. Pp. 30-35.
- [17]. Valt A.B., Ovchinnikov A.A. *Cposoby termoobrabotki betona pri vozvedenii monolitnykh konstruksiy* [Methods of heat treatment of concrete in the construction of monolithic structures] // *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2008. № 13. Pp. 109-112. (rus)
- [18]. Korytov Yu.A. *Zimneye betonirovaniye s primeneniym nagrevatelnykh provodov* [Winter concreting with the use of heating wires] // *Mekhanizatsiya stroitelstva*. 2010. № 3. Pp. 14-20. (rus)
- [19]. Sysoyev A.K. *Tekhnologiya zimnego betonirovaniya s pomoshchyu gibkikh nagrevatelnykh elementov* [Technology of winter concreting with flexible heating elements] // *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2013. V. 27. № 4. P. 279. (rus)
- [20]. Zolotukhin S.N., Goryushkin A.N. *Betonirovaniye pri otritsatelnykh temperaturakh* [Concreting at low temperatures] // *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Vysokiy tekhnologii. Ekologiya*. 2012. № 1. Pp. 81-85. (rus)

- [21]. Ovchinnikov A.A. Valt A.B. *Analiz faktorov, vliyayushchikh na elektrotermoobrabotku monolitnogo zhelezobetona s ispolzovaniyem greyushchikh provodov* [Analysis of factors affecting the electroheat treatment reinforced concrete using a heating wire] // *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2009. № 15. Pp. 120-122. (rus)
- [22]. Shuvalov N.A., Bayburin A.Kh. *Issledovaniye otkloneniy tekhnologicheskikh parametrov zimnego betonirovaniya (na primere monolitnykh konstruksiy kolonn)*. [Investigation deviations of process parameters winter concreting (for example, monolithic structures of columns)] // *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitelstvo i arkhitektura*. 2014. Vol. 14. № 2. Pp. 18-20. (rus)
- [23]. Zhurov N. N., Komissarov S. V. *Sistema temperaturno-prochnostnogo kontrolya betona v rannem vozraste* [The system temperature control and strength of concrete at early age] // *Vestnik MGSU*, №4. 2010. Vol.5 Pp.296-301 (rus)
- [24]. Semenov K.V., Barabanshchikov Yu.G. *Termicheskaya treshchinostoykost massivnykh betonnykh fundamentnykh plit i yeye obespecheniye v stroitelnyy period zimoy*. [Thermal crack massive concrete foundation slabs and security in the building in the winter period] // *Construction of Unique Buildings and Structures*. ISSN 2304-6295. №2 (17). 2014. Pp. 125-135. (rus)
- [25]. Zhu Bofang. *Temperature Control of Concrete Dam in Cold Region* // *Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete*. 2014. Pp. 431-438.
- [26]. Peter Paulik. *The Effect of Curing Conditions (In Situ vs. Laboratory) on Compressive Strength Development of High Strength Concrete* // *Procedia Engineering* № 65, 2013, Pp. 113 – 119.
- [27]. *Metodicheskiye rekomendatsii po primeneniyu nagrevatelnykh provodov i kabeley pri vypolnenii obshchestroitelnykh rabot v zimnikh usloviyakh*. [Guidelines for the use of heating wires and cables in carrying out of civil works in winter conditions] M., 1986, 88p. (rus)
- [28]. Zinevich L.V. *Primeneniye chislennogo modelirovaniya pri proyektirovanii tekhnologii obogreva i vyderzhivaniya betona monolitnykh konstruksiy*. [Guidelines for the use of heating wires and cables in carrying out of civil works in winter conditions] *Magazine of Civil Engineering*. 2011. № 2. Pp. 24-28. (rus)
- [29]. Dudin M. O., Vatin N. I., Barabanshchikov Yu. G. *Modelirovaniye nabora prochnosti betona v programme ELCUT pri progreve monolitnykh konstruksiy provodom*. [Modeling a set of concrete strength in the program ELCUT at warming of monolithic structures by wire] *Magazine of Civil Engineering*. 2015. №2. Pp.33-45. (rus)

Дудин М.О., Барабанщиков Ю.Г. Специфика монтажа электрического провода в технологии прогрева бетона // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №6(33). С. 47-61.

Dudin M.O., Barabanshchikov Y.G. Specificity of wiring into technology of heating concrete. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 6(33), Pp. 47-61. (rus)