

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.05 + 693.5

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-2-8-19

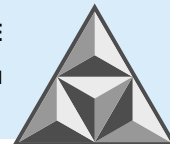
# Деструктивные явления при некачественном прогреве монолитных железобетонных конструкций

**С.Л. Исаченко**

**Сергей Леонидович Исаченко**

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва,  
Российская Федерация

*Isach21@yandex.ru*



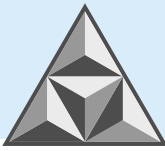
*Возрастание этажности строящихся зданий ведет к увеличению сроков строительства и, как следствие, необходимости устройства монолитных железобетонных конструкций в зимний период. Электропрогрев при помощи проводов является наиболее распространенным в Центральном регионе России методом выдерживания бетона в зимних условиях. При определенных условиях увеличивается риск возникновения дефектов монолитных железобетонных конструкций, связанный с различными видами нарушений технологического процесса. Основные виды дефектов монолитных конструкций неоднократно описаны, но практически не встречаются работы, поясняющие виды и причины дефектов, связанные с нарушениями при электропрогреве бетона. Сформирована блок-схема основных дефектов, а также выявлены основные причины их появления. Обобщен опыт, полученный в течение двух зимних периодов на строительных объектах г. Москвы, относящихся к уникальным зданиям и сооружениям. В ходе операционного и приемочного строительного контроля обозначены группы причин возникновения дефектов: ошибки монтажа и установки провода; нарушения режима прогрева. По каждой группе выявлены конкретные виды дефектов, а также даны рекомендации по их недопущению в дальнейшем. Сформирован «чек-лист» параметров, обязательных для контроля при электропрогреве проводами. Указаны контрольные точки, выполнение которых сводит к минимуму риск возникновения дефектов.*

**Ключевые слова:** электропрогрев бетона, греющий провод, зимнее строительство, температурное расширение, строительный контроль, монолитный железобетон

**Для цитирования:**

Исаченко С.Л. Деструктивные явления при некачественном прогреве монолитных железобетонных конструкций // *Умные композиты в строительстве*. 2024. Т. 5, вып. 2. С. 8-19.  
URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5160/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-2-8-19



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-2-8-19

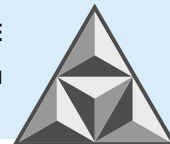
# Destructive phenomena at poor-quality heating of monolithic reinforced concrete structures

**S. L. Isachenko**

**Sergey L. Isachenko**

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

*Isach21@yandex.ru*



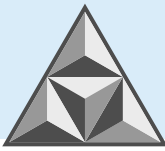
*The growth of the number of the building floors inevitably leads to an increase in the construction period and, consequently, to the need for monolithic reinforced concrete structures in winter. Electric heating by means of cables is the most widespread method of concrete curing in winter conditions in the Central region of Russia. The risk of defects in monolithic reinforced concrete structures increases under certain conditions. This risk is related to various types of technological process faults. The main types of monolithic structures defects have been repeatedly described. But there are practically no papers describing the types and causes of defects associated with failures during electric heating of concrete. The author has developed a block diagram of the main defects, and the main reasons for their occurrence have been identified. The paper summarizes the experience gained during two winter periods at the construction sites of Moscow city belonging to unique buildings and structures. Operational and quality inspection of the construction was performed. The author identified groups of defect causes: cable installation and installation errors; heating regime errors. The author identified specific types of defects for each group, and also gave recommendations on their avoidance in the future. The paper provides a 'check list' of parameters that must be checked during electric heating with heating cables. The checklist shows the control points that minimize the risk of defects.*

**Keywords:** electric heating of concrete, heating cable, winter construction, thermal expansion, construction control, monolithic reinforced concrete

**For citation:**

Isachenko, S.L. (2024) Destructive phenomena at poor-quality heating of monolithic reinforced concrete structures, *Smart Composite in Construction*, 5(2), pp. 8-19  
URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5160/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-2-8-19



## ВВЕДЕНИЕ

В последнее время на территории Российской Федерации, особенно на территории Москвы и Московской области, наблюдается тенденция к увеличению этажности строящихся зданий. Увеличение этажности, даже с применением современных технологий строительства, неминуемо приводит к увеличению сроков проведения общестроительных работ, и, следовательно, необходимости проводить работы в зимних условиях.

На указанной выше территории продолжительность периода зимнего строительства часто составляет не менее полугода [1]. Так как основным материалом, применяемым в строительстве гражданских зданий, является монолитный железобетон, в соответствии с СП 70.13330.2012 «Свод правил. Несущие и ограждающие конструкции», при снижении среднесуточной температуры ниже 5°C необходимо использовать специальные методы по обеспечению требуемых температурно-влажностных параметров при наборе прочности бетона.

Наибольшее распространение получили следующие методы зимнего бетонирования [1-4]:

- метод «термоса»;
- метод с использованием противоморозных добавок;
- электропрогрев бетона;
- индукционный нагрев бетона;
- инфракрасный обогрев бетона.

Как известно, бетон является искусственным строительным материалом, полученным в результате твердения смеси из минерального вяжущего (цемента), крупного и мелкого заполнителя и воды [5]. Поскольку набор прочности цементным камнем связан с протеканием реакций гидратации клинкерных минералов в составе вяжущего, возникает необходимость обеспечения специальных мер по поддержанию требуемого температурно-влажностного режима.

При температуре выше 70-80°C возможно чрезмерно быстрое испарение воды из бетонной смеси. В то же время при слабой интенсивности прогрева вероятно замерзание бетонной смеси. И то, и другое негативно скажется на итоговой прочности конструкции.

Порядок подбора размеров, параметров осуществления процесса, а также схемы раскладки греющих элементов подробно рассмотрены в [6].

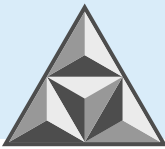
Также ранее разобраны и описаны часто встречающиеся дефекты монолитных железобетонных конструкций, но практически нигде не выделены причинно-следственные связи между ними и особенностями распространения тепла от нагревательного провода [7-9].

Настоящая работа носит практический характер и призвана улучшить контроль качества строительных конструкций. Благодаря созданию перечня факторов влияния и выявлению «узких мест» можно заострить внимание на обеспечении надежности строительной продукции и снизить затраты на исправление дефектов.

Объектом исследования в данной работе выступают монолитные плиты перекрытия, устраиваемые в зимних условиях.

Предметом исследования являются дефекты, возникающие в горизонтальных монолитных конструкциях из-за некачественно выполненных работ по прогреву конструкций при зимнем бетонировании.

Цель работы – формирование перечня основных дефектов, возникающих при электропрогреве монолитного железобетона с помощью греющих проводов, а также выявление причин их возникновения.

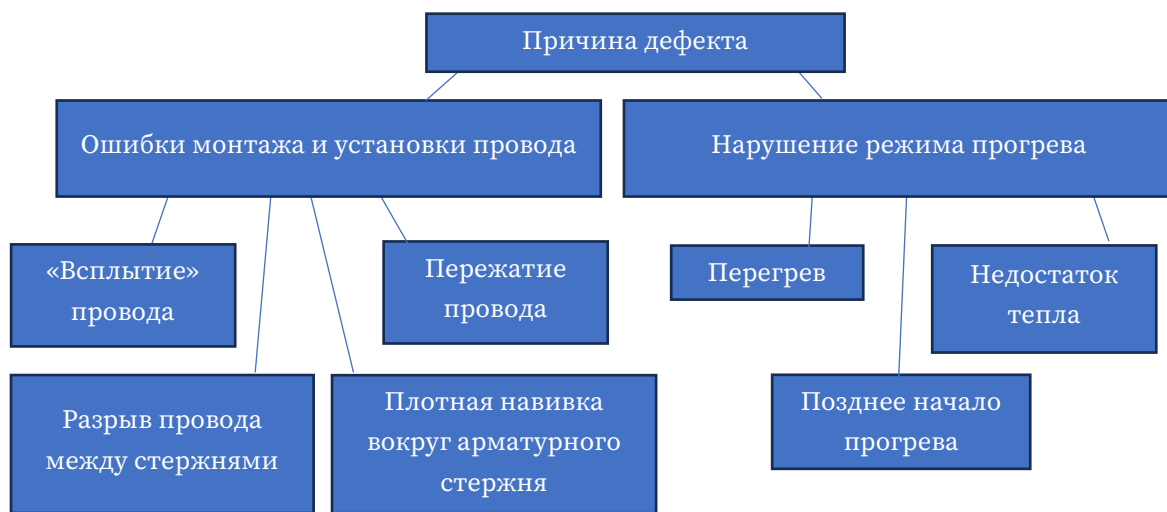


## ДЕФЕКТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ИЗ-ЗА ОШИБОК МОНТАЖА И УСТАНОВКИ ПРОВОДА

Причины возникновения дефектов при проведении электропрогрева с помощью проводов можно разделить на две группы:

- ошибки монтажа и установки провода;
- нарушение режима прогрева.

По каждому из указанных пунктов имеется несколько направлений развития событий, и это удобнее представить в виде блок-схемы.



**Рис. 1.** Блок-схема: причины возникновения дефектов

**Fig. 1.** Block diagram: causes of faults

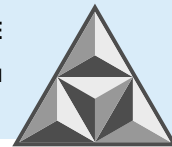
Далее перечислены основные причины возникновения дефектов. Что касается первой группы, в данной работе не приведены подробные инструкции по их устранению. Это связано с тем, что возникновение таких дефектов можно предупредить. Для этого необходимо произвести измерение электрического сопротивления до укладки бетонной смеси и при необходимости оперативно устранить проблему путем замены поврежденного участка провода. В случае выявления дефекта из второй группы (нарушение режима прогрева) алгоритм устранения приведен в следующем подразделе.

«Всплытие» провода возникает при большом шаге привязки провода к арматурным стержням. Опасность данного дефекта обусловлена тем, что «всплывший» провод лишается теплосъема со стороны бетонной смеси. В результате этого происходит обгорание изоляции и короткое замыкание.

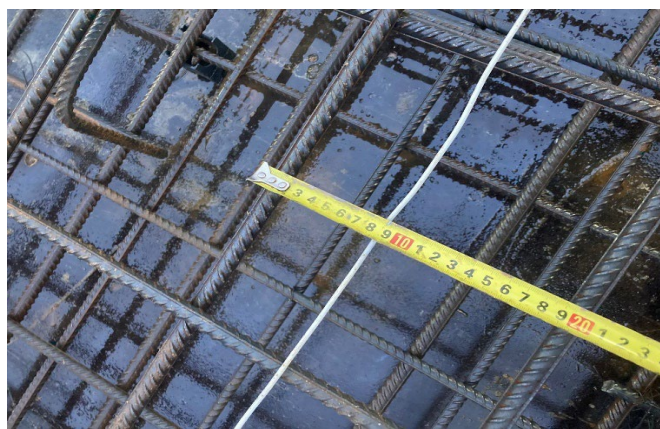


**Рис. 2.** Оплавившийся «всплывший» провод

**Fig. 2.** A melted 'surfaced' cable



Как правило, шаг раскладки греющего кабеля является кратным 100 мм, но в некоторых источниках можно встретить шаг раскладки провода 50 мм. В идеальных условиях необходимо стремиться к раскладке кабеля с шагом 200 мм, так как он наиболее распространен для фоновой арматуры, что позволяет избегать наличия «свободного» провода. Иными словами, «свободный» провод – такой, который не имеет прилегания к фоновой арматуре плиты перекрытия по всей длине. Размещение провода между стержнями может выглядеть как допустимое. Но во время процесса бетонирования монолитного перекрытия рабочие при укладке или уплотнении бетонной смеси могут наступить на «свободный» участок и разорвать провод, а восстановить его после укладки смеси не представляется возможным. Для исключения обрыва провода в ходе подготовки к приемке и укладке бетонной смеси следует проверить сопротивление провода мегомметром перед укладкой бетонной смеси и при необходимости восстановить поврежденный участок.

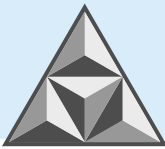


**Рис.3.** Укладка провода между арматурой  
**Fig. 3.** Cable laying between the reinforcement

Согласно [6], фиксировать греющий провод к поверхности рабочей арматуры допускается с применением пластиковых хомутов-стяжек либо при помощи кусков провода в изоляции. Как правило, используются отрезки провода ПНСВ, аналогичного закрепляемому. Это требование обусловлено тем, что во время бетонирования при движении рабочих по каркасу возможна подвижность арматурного каркаса. Если провод будет закреплен классической вязальной проволокой, при упругой деформации каркаса произойдет разрушение изоляции и дальнейшее перегорание провода с выводом из работы всей греющей ветки. На рис. 4 показан пример, когда часть провода закреплена при помощи пластиковых хомутов-стяжек, а часть – с использованием вязальной проволоки.



**Рис. 4.** Крепление греющего провода при помощи пластиковых хомутов-стяжек и вязальной проволоки  
**Fig. 4.** Fixing the heating cable with plastic tie clamps and binding wire



При рассмотрении основных схем укладки греющего провода в плите перекрытия можно выделить два варианта соединения провода в электрическую цепь: по схеме «звезда» и схеме «треугольник» [6, 10]. Главное отличие этих схем – сочетания греющих проводов при подключении к магистральным (схема монтажа «треугольник» приведена на рис. 5).

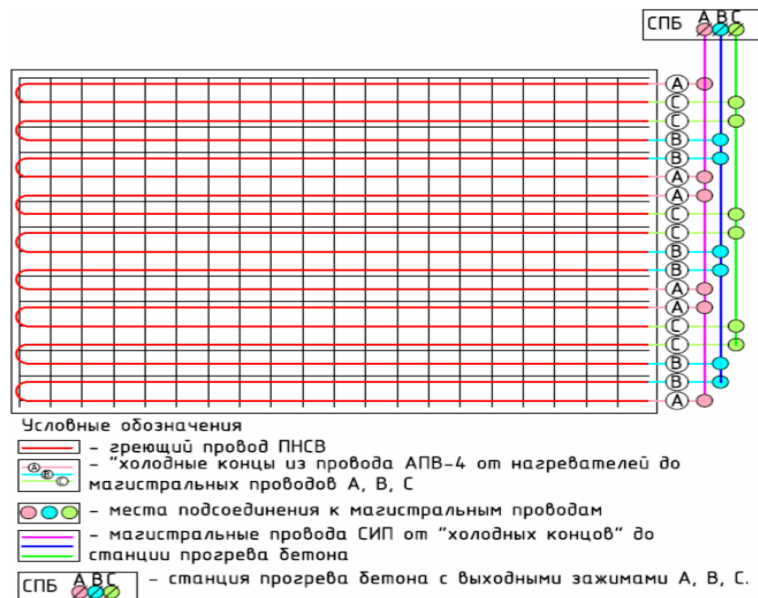


Рис. 5. Монтаж нагревательного провода при подключении по схеме «треугольник»

Fig. 5. Installation of the heating cable for triangle connection

В противоположной от магистральных проводов части плиты перекрытия при монтаже по любой схеме соединения проводов участки, где происходит смена направления их укладки, выглядят практически одинаково. При правильной организации технологического процесса необходимо производить крепление при помощи пластиковых хомутов-стяжек, добавляя дополнительную изоляцию в места поворота провода, избегая его перегибов. На практике же часто встречается плотная навивка провода вокруг арматуры. В таком случае при подаче электрического тока участок, оказавшийся в центре «обмотки», лишается теплосъема со стороны бетонной смеси, а также дополнительно получает тепловую энергию от смежных проводов. В итоге это приводит к обгоранию изоляции и выходу «ветки» провода из строя. Пример неподходящей навивки проводов представлен на рис. 6 (плотная в центральной части).

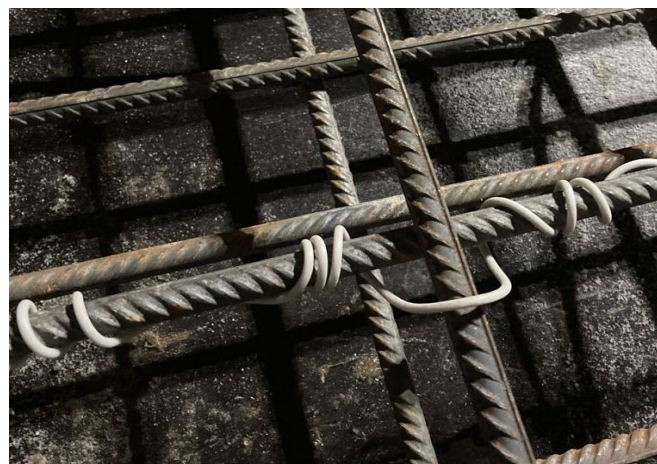
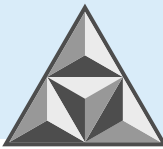


Рис. 6. Намотка греющего провода в зоне, противоположной магистральному проводу

Fig. 6. Heating cable winding in the area opposite the main cable





В то же время на правом и левом участке провода намотаны с зазором порядка 3-5 диаметров. Исходя из практического опыта это является достаточным расстоянием для удовлетворительного теплосъема со стороны бетонной смеси.

## ДЕФЕКТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ИЗ-ЗА НАРУШЕНИЯ РЕЖИМА ПРОГРЕВА

Переходя к рассмотрению дефектов, возникающих из-за нарушений режима прогрева, следует отметить, что особенности тепловых режимов и шаг раскладки проводов подробно описаны в [1, 4, 6, 11]. В настоящей работе основной упор сделан на выявление и устранение результатов несоблюдения режима технологического процесса.

Главной задачей термообработки бетона является поддержание в теле бетона температуры, достаточной для продолжения реакций гидратации, а также форсированный набор прочности бетонной конструкции, так как увеличение температуры позволяет ускорить гидратацию вяжущего [6].

Мероприятия по ликвидации дефектов, возникших на перегретом или замерзшем участке плиты, следует проводить в последовательности:

1. Выявление отклонения температуры бетонной смеси/бетона от расчетных параметров в ходе мероприятий операционного контроля;
2. Проверка участка от магистрального провода до греющего;
3. Отключение группы проводов от магистральных проводов;
4. Мероприятия по приведению температурных параметров к нормативным условиям;
5. Контроль прочности бетона в возрасте 7 и 28 сут.;
6. Принятие решения о необходимости восстановительных мероприятий по итогам испытаний бетона в возрасте 28 сут.

Остановимся на каждом пункте отдельно:

1. Контроль за режимом термообработки бетона проводится лицом, ответственным за производство работ, назначенным приказом по организации, а также лицом, осуществляющим строительный контроль, при помощи технических термометров или датчиков температуры в бетонной смеси. Кроме того, после набора бетоном прочности более 1.5 МПа становится возможным сплошной контроль температуры бетона при помощи пирометра.

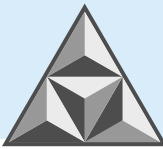
2. В случае исправности магистрального и соединительного провода, идущего от магистрального непосредственно к греющему, и нормально функционирующего трансформатора следует переходить к пункту 3.

3. Необходимо отключить группу проводов от магистрального, так как отсутствие или чрезмерный прогрев бетонной смеси свидетельствует о механическом повреждении изоляции греющего провода.

4. Мероприятия по приведению температурных параметров к нормативным условиям зависят от типа нарушения:

– в случае отсутствия подачи тепла на участок плиты перекрытия следует незамедлительно уложить на поверхность бетона греющие маты, а при их отсутствии – соорудить тепляк и прогревать воздух внутри тепляка тепловыми пушками;

– чрезмерный перегрев зоны плиты перекрытия (выше 80°C) может свидетельствовать о коротком замыкании на участке провода. В этом случае после снятия напряжения с дефектного участка необходимо дождаться снижения температуры до допустимых параметров и прибегнуть к обогреву бетона методами, указанными в предыдущем подпункте; при этом



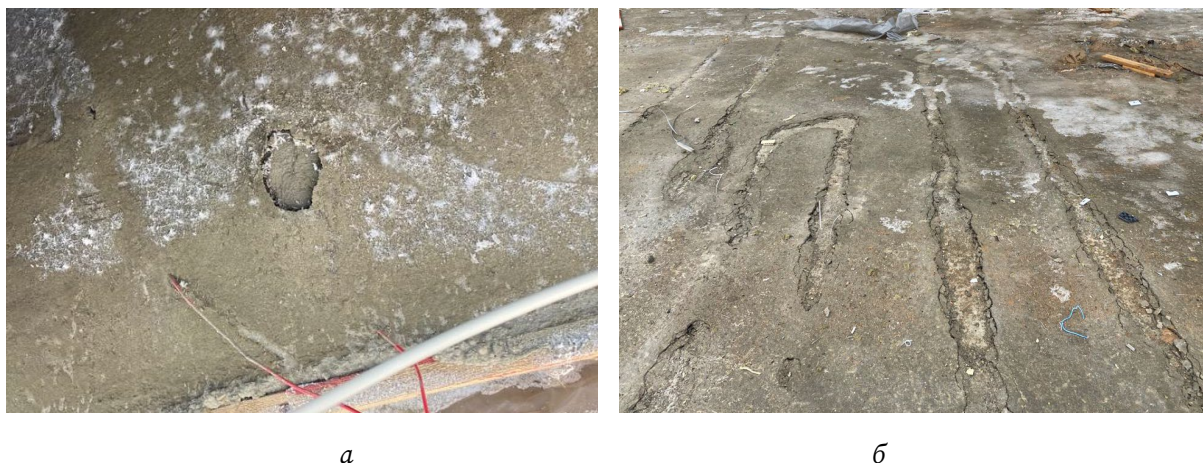
нельзя исключать вероятность того, что перегрев бетонной смеси произошел из-за особенностей наложения тепловых полей в зоне поворотов греющего провода.

5. Необходимо провести контроль дефектных участков в возрасте 7 и 28 сут. неразрушающими методами контроля (ультразвуковой контроль прочности бетона и отрыв бетона со скалыванием). При обширных дефектных участках или невозможности произвести измерения указанным методом (из-за разрыхления верхнего слоя бетона) следует прибегнуть к отбору кернов с дальнейшим испытанием разрушающим методом контроля.

6. При положительных результатах испытаний дальнейшие мероприятия не проводятся, в противном случае необходимо разработать комплекс мероприятий по восстановлению несущей способности дефектных участков.

Отдельное внимание необходимо уделить дефекту, возникающему при задержке прогрева бетона. На практике такое явление случается достаточно редко. Этому способствуют разгрузочные плиты, устраиваемые непосредственно по грунту с целью устройства проездов и пешеходных участков на стилобатах здания. Конструктивной особенностью данных плит является расположение арматурной сетки в середине тела плиты, и, кроме того, значительный отъем тепла из свежеложенной бетонной смеси со стороны грунтового основания.

В случае, когда между завершением укладки бетонной смеси и началом прогрева проходит немало времени, а в качестве утепления выбрано только брезентовое тентовое укрытие, из-под которого возможно выдувание теплого воздуха, возникает следующая ситуация. Верхний слой бетона покрывается ледяной коркой. К моменту, когда корка имеет сформированную структуру, в середине сечения бетона начинается активное тепловыделение от греющего провода. Часто ответственное лицо, стремясь исправить свою ошибку, подает ток большой мощности на греющий провод. Под действием источника тепла начинается испарение воды из толщи бетонной смеси. Однако ледяная корка, сформировавшаяся на поверхности, препятствует свободному испарению влаги, в результате чего образуются многочисленные вздутия верхнего слоя бетона. Первый этап образования таких дефектов показан на рис. 7, а.

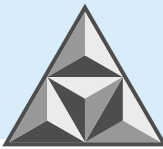


**Рис. 7.** Вздутие бетонной поверхности вследствие появления ледяной корки (а) и появление дефектных участков над греющим проводом (б)

**Fig. 7.** Bloating of the concrete surface due to ice crusting (a) and defective areas above the heating cable (b)

Кроме того, в данном примере греющий провод уложен неравномерно и с большим шагом, что, в свою очередь, также способствовало появлению дефектов (см. рис. 7, б).

После формирования перечня дефектов сделано заключение, что практически во всех случаях основной причиной проблем является человеческий фактор. Своевременное обнаружение дефектов позволяет минимизировать, а в некоторых случаях – свести к нулю



затраты, необходимые на восстановление расчетных характеристик и параметров готовых строительных конструкций. Кроме того, учет возможности появления данных дефектов позволяет прогнозировать возможность их возникновения и учесть этот фактор при построении организационно-технологической модели обеспечения эффективного строительного производства [12]. Это, в свою очередь, ведет к снижению общей стоимости строительства.

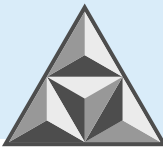
## ВЫВОДЫ

Сформирована блок-схема с перечнем дефектов, возникающих при электропрогреве бетона из-за нарушения технологического регламента. Создан «чек-лист», показывающий основные «узкие места» и параметры, на которые необходимо обратить внимание для снижения риска возникновения дефекта строительных конструкций при электропрогреве их проводами. Основные пункты такого «чек-листа»:

- отсутствие «свободного» провода, уложенного без плотной связи с армированием;
- крепление провода без применения стальной вязальной проволоки;
- отсутствие плотной навивки проводов вокруг армирования в зоне, противоположной магистральному кабелю;
- проверка сопротивления электрической цепи в начале процесса и при завершении процесса укладки бетонной смеси;
- контроль режима термообработки бетона;
- определение габаритов «дефектной» зоны (только при наличии грубых нарушений температурного режима выдерживания бетона).

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Головнев С.Г.** Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов. Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1999. 156 с.
2. **Забелина О.Б., Леонов Д.В.** Выбор эффективного метода зимнего бетонирования монолитных строительных конструкций // Перспективы науки. 2020. № 6. С. 67-70.
3. **Красновский Б.В.** Инженерно-физические основы методов зимнего бетонирования: в 2 ч. Ч. 1: учеб. пособие для вузов. М.: Изд. Юрайт, 2024. 286 с.
4. **Гныря А.И., Коробков С.В.** Технология бетонных работ в зимних условиях. Томск: Изд. ТГАСУ, 2011. 412 с.
5. **Баженов Ю.М.** Технология бетона. М.: Изд. АСВ, 2002. 500 с.
6. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях: под ред. Б.А. Крылова, С.А. Амбарцумяна, А.И. Звездова. М.: НИИЖБ, 2005. 275 с.
7. **Перунов А.С.** Характерные дефекты монолитных конструкций при нарушении технологии работ в зимнее время // Инженерный вестник Дона. 2024. № 3.
8. **Саденко Д.С., Гарькин И.Н.** Причины дефектов при производстве монолитных железобетонных конструкций, связанных с коррозией бетона // Региональная архитектура и строительство. 2020. № 4. С. 105-109.
9. **Khuzin A., Sharavina A.** Ways to improve the quality of monolithic reinforced concrete structures // IOP Conf. Ser.: Mat. Sci. Eng. IOP Publishing. 2020. Vol. 890, no. 1. P. 1-9.
10. **Дудин М.О., Барабанщиков Ю.Г.** Специфика монтажа электрического провода в технологии прогрева бетона // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 6. С. 47-61.
11. Зимнее бетонирование с применением нагревательных проводов МДС 12-48.2009. ЗАО «ЦНИИОМТП». М.: ОАО «ЦПП», 2009. 18 с.



12. **Федосов С.В., Опарина Л.А., Маилян А.Л., Петрухин А.Б., Федосеев В.Н.** Отечественный и зарубежный опыт моделирования организационно-технологической надежности строительного производства на современном этапе. Умные композиты в строительстве. 2021. Vol. 2, no. 1. P. 40-46. URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5037/view>; DOI: 10.52957/27821919\_2021\_1\_40

*Поступила в редакцию 15.04.2024*

*Одобрена после рецензирования 24.05.2024*

*Принята к опубликованию 10.06.2024*

## REFERENCES

1. **Golovnev, S.G.** (1999) *Tekhnologiya zimnego betonirovaniya. Optimizatsiya parametrov i vybor metodov* [Winter concreting technology. Parameters' optimisation and choice of methods.]. Chelyabinsk: Izd. YuUrRGU, Russia. (in Russian).
2. **Zabelina, O.B. & Leonov, D.V.** (2020) Vybor effektivnogo metoda zimnego betonirovaniya monolitnykh stroitel'nykh konstruksiy [Choosing an Effective Winter Concreting Method for Monolithic Building Structures], *Perspektivy nauki*, (6), pp. 67-70 (in Russian).
3. **Krasnovskiy, B.V.** (2024) *Inzhenerno-fizicheskie osnovy metodov zimnego betonirovaniya : v 2 ch. Chast' 1* [Engineering and physical foundations of winter concreting methods: in 2 parts. Part 1]. Ucheb. posobie dlya vuzov. Moscow: Izd. Yurajt, 2024 (in Russian).
4. **Gnyrya, A.I. & Korobkov, S.V.** (2011) *Tekhnologiya betonnykh работ v zimnih usloviyah* [Technology of concrete works in winter conditions]. Tomsk: Izd. TGASU (in Russian).
5. **Bazhenov, Yu. M.** (2002) *Tekhnologiya betona* [Concrete technology]. Moscow: Izd. ASV (in Russian).
6. **Krylov, B.A., Ambartsumyan, S.A. & Zvezdov, A.I.** (2005) *Rukovodstvo po progrevu betona v monolitnykh konstruksiyakh* [Guidelines for heating concrete in monolithic structures]. Moscow: Izd. NIIZhB (in Russian).
7. **Perunov, A.S.** (2024) Harakternye defekty monolitnykh konstruksiy pri narushenii tekhnologii работ v zimnee vremya [Characteristic defects of monolithic structures in violation of the technology of work in winter], *Inzhenerniy vestnik Dona*, (3) (in Russian).
8. **Sadenko, D.S. & Garkin, I.N.** (2020) Prichiny defektov pri proizvodstve monolitnykh zhelezobetonnykh konstruksiy, svyazannykh s korrozией betona [Causes of defects in production of monolithic reinforced concrete structures related to concrete corrosion], *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*, (4), pp. 105-109 (in Russian).
9. **Khuzin, A. & Sharavina, A.** (2020) Ways to improve the quality of monolithic reinforced concrete structures, *IOP Conf. Ser.: Mat. Sci. Eng.*, IOP Publishing, 890(1), pp. 1-9.
10. **Dudin, M.O., Barabanshchikov, Yu.G.** (2015) Specifics of electric wire installation in concrete heating technology, *Construction of unique buildings and structures*, (6), pp. 47-61 (in Russian).
11. *Zimnee betonirovanie s primeneniem nagrevatel'nykh provodov MDS 12-48.2009.* ZAO TsNIIOMTP. M.: OAO TsPP, 2009. 18 p. (in Russian).
12. **Fedosov, S.V., Oparina, L.A., Mailyan, A.I., Petrukhin, A.B. & Fedoseyev, V.N.** (2021) Russian and international experience in simulation of the organizational and technological reliability of modern construction production, *Smart Composite in Construction*, 2(1), pp. 40-46 [online]. Available at: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5037/view>; DOI: 10.52957/27821919\_2021\_1\_40 (in Russian) (accessed 12.03.2024).

*Received 15.04.2024*

*Approved after reviewing 24.05.2024*

*Accepted 10.06.2024*