



УДК 69.055

**Имайкин Д.Г.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [imaykindg@mail.ru](mailto:imaykindg@mail.ru)

**Ибрагимов Р.А.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [rusmag007@yandex.ru](mailto:rusmag007@yandex.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

## Совершенствование технологии бетонирования монолитных конструкций

### Аннотация

*Постановка задачи.* В статье приведен анализ существующих систем метода прогрева железобетонных конструкций. Показано, что, при бетонировании колонн прямоугольного сечения, область углов колонн характеризуется более низким качеством бетона, чем в остальных областях, что вызывает повышенную повреждаемость в указанных зонах. Для устранения существующих недостатков в статье предлагается конструкция опалубки для бетонирования монолитных колонн.

*Результаты.* Во время распалубки колонны часто происходит скол углов с обнажением арматуры. Также во время эксплуатации колонн их углы являются наиболее уязвимой частью при случайных ударных или статических нагрузках на них. Ремонт и восстановление внешнего вида и защитных свойств бетона в углах колонн зачастую вызывает необходимость применения специальных материалов или методов ремонта, значительно удорожающих строительство.

*Выводы.* В результате проведенных исследований установлено, что причины пониженного качества бетона заключаются в неплотности стыков опалубочных элементов и пониженной температуре твердения бетона. А также в пониженной температуре в углах колонн, что является следствием недостатка существующих систем прогрева, не учитывающих неравномерность прогрева от собственного тепловыделения бетона при твердении и повышенных теплопотерь в углах колонн.

**Ключевые слова:** бетонирование, распалубочная прочность, возведение зданий, колонны, углы, технология, опалубка, монолит.

Опыт возведения железобетонных конструкций колонн зданий химических производств показывает, что наиболее «проблемным» местом этих колонн являются их углы. Во время распалубки колонны часто происходит скол углов с обнажением арматуры. Также во время эксплуатации колонн их углы являются наиболее уязвимой частью при случайных ударных или статических нагрузках на них. Ремонт и восстановление внешнего вида и защитных свойств бетона в углах колонн зачастую вызывает необходимость применения специальных материалов (ремонтных полимербетонов и пр.) или методов ремонта (торкретирования и пр.), значительно удорожающих строительство.

Причинами этой повышенной повреждаемости углов колонн в большинстве случаев являются два фактора:

- 1) менее качественный бетон в углах, чем в основном «теле» конструкции, в частности – более низкие прочностные свойства;
- 2) выступающий угол при внешних механических нагрузках создает большие напряжения в области защитного слоя арматуры.

Также одной из причин низкого качества бетона в углах колонн, особенно бетонирование которых происходило при отрицательных температурах наружного воздуха, является более низкая температура твердения бетона, чем основной массы бетона. Это вызвано двумя основными факторами:

- 1) при твердении бетона происходит выделение тепла, которое распределяется по телу сечению конструкции неравномерно – наиболее количество тепла располагается в центре, а наименьшее – на периферии, причем в углах температура более низкая, чем в серединах граней конструкции. Данный факт наиболее ярко проявляется для массивных конструкций – плотин, фундаментов и пр. В частности, в работе Пуляева И.С. [1-4]

приведены схемы распределения температур в теле бетонизируемых пилонов;

2) в углах конструкций, особенно тех, которые эксплуатируются на открытом воздухе, происходят более интенсивные теплопотери, вызванные эффектом «обдува» ветром, а также теплопотерями через неплотности стыков опалубочных щитов. Данный факт был установлен в работе Зиневич Л.В. [5-8]. Данные представлены на рис. 1.

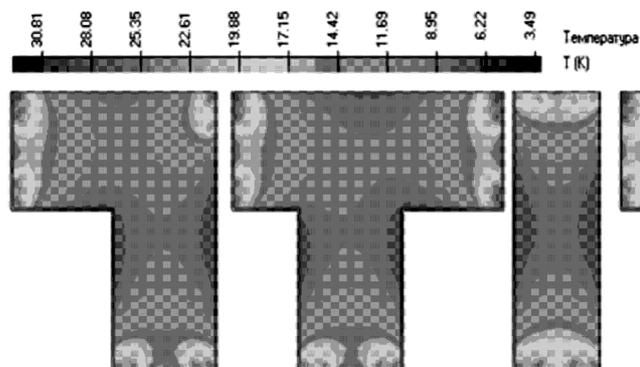


Рис. 1. Мозаика температурных полей в бетонизируемых конструкциях

Одной из причин низкого качества бетона являются технологические причины – толщина защитного слоя в большинстве случаев не позволяет крупному заполнителю проникать в угловые зоны и тело бетона в нем состоит из мелкого заполнителя и вяжущего. Для создания условий заполнения углов качественным бетоном необходимо увеличить давление или увеличить количество крупного заполнителя, что может негативно сказаться на прочности бетона в средней части колонны. Отрицательную роль также играют устройства для фиксации определенной толщины защитного слоя, устанавливаемые на арматурный каркас и создающие препятствия для проникновения крупного заполнителя в локальные зоны углов.

На сегодняшний день наиболее часто применяются опалубки для колонн, состоящие из отдельных опалубочных щитов. Щиты бывают инвентарными, предназначенными для изготовления колонн одного типоразмера, и универсальными, предназначенными для изготовления большого количества различных монолитных бетонных конструкций (балок, плит, фундаментов и пр.). При небольших объемах работ строители зачастую изготавливают опалубку кустарным способом из имеющихся подручных материалов – фанеры, досок, бракованных отделочных плит и пр. Все эти виды опалубки объединяет то, что стыки опалубочных щитов при бетонировании колонн приходится на углы конструкции. Некачественное изготовление щитов опалубки приводит к появлению в местах стыков значительных неплотностей и щелей. Это является причиной двух неприятных последствий: вытекания через них цементного «молока» с мелким заполнителем, что вызывает появление в углах каверн, обнажений арматуры, неровностей и некачественности поверхности бетона, а также бетон, застывший в щелях и неплотностях опалубки, способствует появлению дополнительных напряжений при распалубке, портит внешний вид колонны, создает возможность травмирования людей и пр. Также давление бетона при его заполнении опалубки и уплотнении способствует дополнительному раскрытию стыков между щитами.

На рис. 1 приведены данные о температуре наружной поверхности опалубки ригелей при прогреве их внутренними электродами. Как видно, разность в центре и углах конструкций температур также близка к 30 °С. Причем установлено, что величина снижения температуры в углах конструкций нельзя объяснить неравномерностью распределения тепла от внутренних греющих элементов. Доказано влияние скорости обдувающего ветра и теплопотерь от неплотностей стыков опалубочных щитов.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что создание опалубки, конструкция которой будет способствовать более качественному бетонированию углов колонн, является весьма актуальной задачей для увеличения энергоэффективности строительного производства, повышения качества строительных изделий, как колонн, так и других монолитных бетонных конструкций.

При этом необходимо решить два основных вопроса: 1) конструкция опалубочной поверхности, непосредственно контактирующая с бетоном, должна исключать появление вышеуказанных недостатков бетонирования углов; 2) необходимо создать условия для достаточного прогрева углов колонн при отрицательных температурах наружного воздуха.

Для создания плотного стыка опалубочных щитов некоторые производители предлагают опалубку, в которой соединения щитов производится через специальные угловые элементы по принципу фланцевых соединений. Данные конструкции создают гораздо более качественные бетонные конструкции, но они решают это за счет изготовления и использования дополнительных соединительных элементов и усложнения конструкции щитов, что в конечном итоге приводит к невозможности применять щиты для одного вида колонн при изготовлении колонн других типоразмеров и значительному удорожанию строительства. Необходимо создать конструкцию опалубки, не имеющей стыковки опалубочных щитов в углах колонны. Для решения этой задачи могут применяться несъемные опалубки коробчатого сечения, однако их применение создает значительные трудности при армировании колонн, для равномерного заполнения опалубки бетоном и его уплотнения.

Для определения необходимой мощности нагревательных элементов было проведено экспериментальное исследование по определению температуры бетона от нагревательного элемента на различных от него расстояниях. На величину градиента температуры влияет его состав и, в первую очередь – содержание свободной воды.

Была сконструирована экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 2.

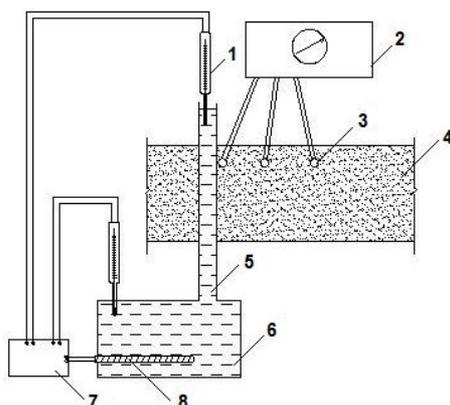


Рис. 2. Схема установки для определения температуры прогреваемого бетона:

1 – контактный термометр; 2 – самописец; 3 – термопары; 4 – образец бетона; 5 – медная трубка; 6 – емкость с водой; 7 – электронный блок; 8 – нагревательный элемент

В качестве образца была использована смесь крупнозернистого и мелкого песка и тонкомолотый шлак конверторного производства стали, имитирующий цемент. Соотношение количества песка и шлака по весу составляло 5:1. Исследования проводились на образцах с различным содержанием воды: В/Ц отношение составляло 1:5, 1:3, 1:1,5. Температура нагревательного элемента поддерживалась на уровне + 80 °С – максимально возможной температуры прогрева бетона. Термопарами в количестве 7 штук измерялась температура в теле бетона на расстояниях от нагревательного элемента 0,5 см, 5 см, 10 см и фиксировалось на самописце.

Результаты проведенных исследований представлены в табл.

Таблица

**Показатель водоцементного отношения и расстояния термопар**

№ п/п	Расстояние, см	Водоцементное отношение		
		1/5	1/3	1/1,5
1	0,5	77,2	76,4	76,2
2	5	64,2	57,2	53,6
3	10	59,3	52,7	42,1

Полученные экспериментальным путем данные о закономерностях распределения температур в бетоне от нагревательного элемента позволят подбирать необходимое расстояние между нагревательными элементами для достижения равномерного прогрева конструкций по всей наружной поверхности.

Значительная неравномерность температуры поверхности в углах и середине граней колонн с прогреванием бетона была зафиксирована инженерами и строителями. Поэтому в некоторых стандартах использование нагревательных элементов колонн [9-12] были внесены следующие пункты:

1. Измерения температур должны проводиться в точках, с прогнозируемой наибольшей разницей температур (например, углы и ядро конструкции), не пренебрегая промежуточными участками измерения конструкций.

2. При прогнозировании поведения бетона в процессе бетонирования и контроля температуры необходимо учитывать фактическое положение температурных точек в теле конструкции. Допускается для упрощения ввода координат точек использовать условное деление конструкции на зоны, например, центр, угол и поверхность конструкции (рис. 3).

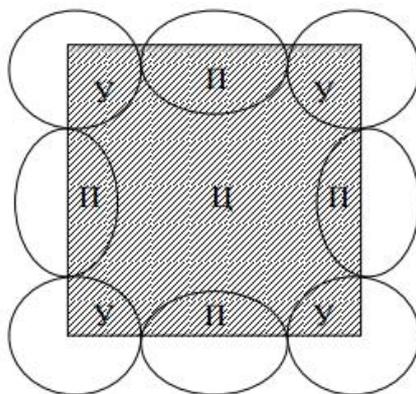


Рис. 3. Условные зоны обогрева конструкций:  
У – угол; П – поверхность конструкции; Ц – центр конструкции

Как следует из рис. 3, форма опалубочных листов и расположение нагревательных элементов в углах колонн позволяет более равномерно распределить энергию нагрева с учетом собственного тепловыделения бетона и исключить эффект потерь тепла через неплотности стыков конструкции.

Температура от собственного тепловыделения бетона может определяться расчетным путем (из расчета величины градиента температур 2-4 см на градус толщины бетона) или в лабораторных условиях по существующим методикам.

В качестве греющих элементов можно использовать следующие технические решения:

1) Расположение греющих изолированных проводов с внешней стороны палубы под утеплителем (рис. 3).

2) Греющие элементы выполнить в виде токопроводящей пленки, наклеенной на сгиб внутренней поверхности палубы и защитить её слоем полимерного покрытия (например, эпоксидного). При этом саму палубу можно выполнить из стеклопластика, фанеры и пр.

3) Токопроводящие элементы также могут быть выполнены в виде металлических пластин, расположенных около углового сгиба и выполняющих роль электродов, пропускающих электроток через угловую зону колонн. При этом прогрев будет происходить в угловой зоне колонн. В качестве одного из электродов может использоваться внутренняя арматура, расположенная вблизи углов.

4) Металлические пластины, втиснутые в угловой элемент, могут использоваться для индукционного прогрева угловых зон. Индукционная обмотка может быть закреплена на укрывном «одеяле», которое обматывается вокруг колонны с опалубкой и дополнительно служит для теплоизоляции, защиты от ветра, солнечного нагрева и испарения влаги.

5) Данный метод прогрева бетонных колонн может сочетаться с применением дополнительного наружного утепления, чему способствует отсутствие выступающих частей опалубки и небольшие размеры в плане (метод «термоса»).

В работах [13-15] установлено, что температура бетона в углах конструкции ниже, чем в средней части граней, при равномерном прогреве всей поверхности колонн.

Для устранения вышеуказанных недостатков нами предлагается следующая конструкция опалубки для бетонирования монолитных колонн, изображенная на рис. 4.

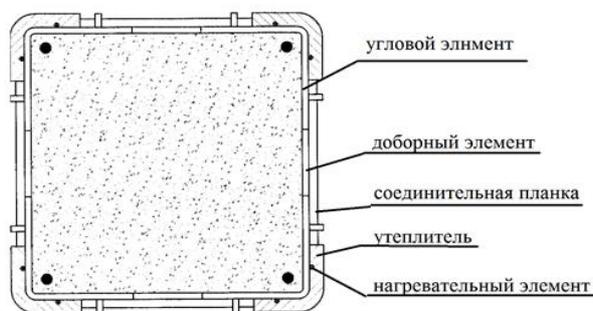


Рис. 4. Предлагаемая конструкция опалубки

Основными элементами опалубочной системы являются угловые элементы. Они выполнены из листовой стали, согнутой соответствующим образом, или из иного материала (например, стеклопластиковые). Данные элементы имеют следующие отличительные особенности:

1) загиб листа имеет заранее заданный радиус закругления, равный расстоянию от центра арматуры до наружной поверхности колонны, благодаря чему толщина защитного слоя на углах конструкции везде одинакова. Это придает конструкции лучший внешний вид, уменьшает вероятность образования скола при распалубке конструкции и эксплуатации колонны, а также уменьшает трудоемкость распалубки.

2) Зона загиба листа снабжена греющими элементами для локального прогрева угла колонны, а также утеплена для снижения теплопотерь. Это позволяет за счет более равномерного распределения энергии прогрева поверхности колонны добиться снижения энергопотребления и устранить неравномерность прогрева на различных участках поверхности.

Доборные элементы заполняют пространство между угловыми элементами и позволяют получить колонны нужных размеров.

### Выводы

1. Анализ научно-технической литературы и натурные обследования показали, что при бетонировании колонн прямоугольного сечения область углов колонн характеризуется более низким качеством бетона, чем в остальных областях, что вызывает повышенную повреждаемость в указанных зонах.

2. Причиной пониженного качества бетона является неплотность стыков опалубочных элементов и пониженная температура твердения бетона при отрицательных температурах.

3. Пониженная температура в углах колонн является следствием недостатка существующих систем прогрева, не учитывающих неравномерность прогрева от собственного тепловыделения бетона при твердении, а также повышенных теплопотерь в углах колонн.

4. Предложенный вид опалубки в виде отдельных угловых элементов, имеющих форму закругления в углу колонны, позволяет создать эстетичный внешний вид колонн, понизить повреждаемость колонн в углах и снизить трудоемкость опалубочных работ при монолитном бетонировании колонн прямоугольного сечения.

5. Предложенная система локального прогрева поверхности бетонируемых колонн в угловых зонах позволяет по сравнению с традиционными методами и средствами

прогрева уменьшить неравномерность прогрева отдельных зон поверхности, и тем самым уменьшить расход энергии на прогрев бетона.

6. Предложенный принцип локального прогрева бетонируемых конструкций позволяет реализовать его большим количеством технических средств, что позволяет его применять для большого количества разнообразных конструкций и условий бетонирования и эксплуатации сооружений.

### Список библиографических ссылок

1. Пуляев И. С., Пуляев С. М. К вопросу о максимальной температуре основания, при которой допускается укладка бетонной смеси при возведении транспортных сооружений // Вестник МГСУ. 2011. № 2-2. С. 295–301.
2. Ибрагимов Р. А., Пименов С. И., Изотов В. С. Влияние механохимической активации вяжущего на свойства мелкозернистого бетона // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 2 (54). С. 63–69.
3. Имайкин Д. Г., Ибрагимов Р. А. Исследование факторов, влияющих на срок службы тентовых строительных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 14. С. 120–123.
4. Щерба В. Г., Кочанов А. А., Сагалаков Г. В., Бахронов Р. Р., Коренков А. В. Исследование эффективных технологий всепогодного бетонирования конструкций многоэтажных монолитных жилых зданий // Вестник МГСУ. 2008. № 3. С. 154–156.
5. Mgalobelov Yu. V. Advanced techniques in designing and building concrete dams // Hydrotechnical Construction. 2000. Vol. 34. № 8-9. P. 415–422.
6. Кузьмин И. Б. Теоретические основы технологии бетонирования монолитных конструкций пароразогретыми в автобетоносмесителях смесями // Строительство и реконструкция. 2011. № 6. С. 64–69.
7. Бугаевский С. А. Метод возведения каркасных систем нового типа // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2012. № 58. С. 78–84.
8. Федосов С. В., Кузьмин И. Б. Методика назначения технологических параметров производства бетона из пароразогретыми смеси // Приволжский научный журнал. 2011. № 2. С. 31–38.
9. Тисецкая О. Ю. Экономическая эффективность основных технологий строительной индустрии // Экономика. Управление. Право. 2012. № 12-2 (36). С. 49–55.
10. Dolgikh R. A., Rapoport O. L. Induction heating of concrete floor at monolith building. Modern Techniques and Technologies MTT' 2005 proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists / Tomsk Polytechnic University. 2005. P. 96–97.
11. Kiyants A. V. The negative temperature impact on hardening of magnesia composites // Materials Science Forum. 2016. V. 843. P. 91–95.
12. Pinto R. C. A., Schindler A. K. Unified modeling of setting and strength development // Cement and Concrete Research. 2010. V. 40. № 1. P. 58–65.

**Imaykin D.G.** – candidate of technical sciences, associate professor  
E-mail: [imaykindg@mail.ru](mailto:imaykindg@mail.ru)

**Ibragimov R.A.** – candidate of technical sciences, associate professor  
E-mail: [rusmag007@yandex.ru](mailto:rusmag007@yandex.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**  
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

### Perfection of technology of concreting of monolithic constructions

#### Abstract

*Problem statement.* The article provides an analysis of existing systems, the method of warming up of reinforced concrete structures. It is shown that during the concreting of rectangular

columns, the zone of columns angles characterized by a low concrete quality than in other areas, causing an increased defect in these areas. In order to eliminate the existing shortcomings in the article proposes the construction formwork for concreting monolithic columns.

*Results.* During the stripping column often occurs corners peeling with the reinforcement exposing. Also during the columns exploitation its corners are the most vulnerable part at random shock or static loads on them. Repair and restoration of the appearance and protective properties of concrete in the columns at the corners often necessitate the use of special materials or a method of repair is significantly high cost construction.

*Conclusions.* The studies found that the cause of reduced quality of the concrete is a leak joints of formwork elements and lower curing temperature of concrete at low temperatures, and low temperature in the corners of columns, which is a consequence of the lack of current warming systems that do not take into account the uneven warming on its own concrete heat when hardening, as well as increased heat in the corners of columns.

**Keywords:** concreting, stripping strength, erection of buildings, columns, corners, Technology, formwork, monolith.

### References

1. Puliaev I. S., Puliaev S. M. On the issue of the maximum temperature of the base at which allowed laying of concrete in the construction of transport facilities // Vestnik MGSU. 2011. № 2-2. P. 295–301.
2. Ibragimov R. A., Pimenov S. I., Izotov V. S. Effect of mechanical activation on the binder properties of fine-grained concrete // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2015. № 2 (54). P. 63–69.
3. Imaykin D. G., Ibragimov R. A. A study of factors affecting the service life of tent construction materials // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. V. 18. 2015. № 14. P. 120–123.
4. Szczerba V. G., Kochanov A. A., Sagalakov G. V., Bakhronov R. R., Korenkov A. V. Study of effective technologies of all-weather concreting construction of multi-storey monolithic apartment buildings // Vestnik MGSU. 2008. № 3. P. 154–156.
5. Mgalobelov Yu. B. Advanced techniques in designing and building concrete dams // Hydrotechnical Construction. 2000. Vol. 34. № 8-9. P. 415–422
6. Kuzmin I. B. Theoretical bases of monolithic constructions concrete technology by steam heated mixtures in mixer trucks // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2011. № 6. P. 64–69.
7. Bugaevskiy S. A. The method of construction of a new type of frame systems // Vestnik Kharkovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2012. № 58. P. 78–84.
8. Fedosov S. V., Kuzmin I. B. Method of appointment of technological parameters of concrete production from steam heated mixture. // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. 2011. № 2. P. 31–38.
9. Tisetskaya O. J. Economic efficiency of the core technology of the construction industry // Ekonomika. Upravleniye. Pravo. 2012. № 12-2 (36). P. 49–55.
10. Dolgikh R. A., Rapoport O. L. Induction heating of concrete floor at monolith building. Modern Techniques and Technologies MTT' 2005 proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists / Tomsk Polytechnic University. 2005. P. 96–97.
11. Kiyaniets A. V. The negative temperature impact on hardening of magnesia composites // Materials Science Forum. 2016. V. 843. P. 91–95.
12. Pinto R. C. A., Schindler A. K. Unified modeling of setting and strength development // Cement and Concrete Research. 2010. V. 40. № 1. P. 58–65.