

## Исследование зависимости температурного режима формирования массивного бетонного блока от его геометрии

*Д.С. Ванус, М.Д. Орлов, А.В. Марков, А.И. Авилов, И.А. Злобин*

*Московский государственный строительный университет, Москва*

**Аннотация:** Трещинообразование является важной проблемой в процессе строительства бетонного массивного сооружения. Подавляющее большинство возникающих в бетоне трещин, как правило, вызвано температурами воздействиями. Вследствие этого весьма важно контролировать и регулировать температурный режим, что является необходимым для предотвращения трещинообразования. Формирование температурного режима бетонного блока зависит от большого количества факторов: его размеры; расход цемента и его максимальное тепловыделение; температура укладываемого бетона; температура окружающей среды и т.д. В данной работе рассматривалась зависимость температурного режима одиночного бетонного блока при его формировании от его размера. Получены математические зависимости, которые позволяют прогнозировать температурные параметры по геометрическим характеристикам блока

**Ключевые слова:** Бетонная конструкция, проектирование, температурный режим, эксплуатация, трещиностойкость, метод конечных элементов.

### ВВЕДЕНИЕ

По определению, данному Американским комитетом по бетону «массивным бетонным элементом» можно назвать такой бетонный конструктивный элемент, в котором твердение бетона сопровождается значительным тепловыделением и большой неравномерностью температурного поля за счет экзотермии цемента. В результате этого, вследствие возможности трещинообразования, необходимо использовать мероприятия по его предотвращению [1]. Массивные бетонные конструкции наиболее часто встречаются в практике энергетического и гидротехнического строительства, фундаментостроении, при строительстве мостов и т.д. [2]. По рекомендации этого комитета к «массивным бетонным конструкциям» можно отнести конструкции с размерами по направлениям более 3-х футов или одного метра [3].

Одной из основных проблем, с которыми приходится сталкиваться при строительстве бетонных массивов является проблема обеспечения

температурной трещиностойкости бетонной кладки в процессе возведения. Из-за теплоты гидратации цемента в массе бетонной конструкции на этапе строительства возникает большой температурный перепад между ядром бетонного массива и его поверхностью. В результате образование трещин на бетонной поверхности, вызванное тепловым стрессом в раннем возрасте бетона, является результатом этого механизма [4-6].

## **ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

Согласно СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» основания рассчитываются по II группе предельных состояний [7]. Совместная деформация основания и сооружения может характеризоваться несколькими основными параметрами, которые описаны в СП, в частности: осадкой основания фундамента и относительной разностью осадок. Величины полученных деформаций зависят от: величины прилагаемой нагрузки на основание; величины сжимаемой толщи; инженерно-геологических условий площадки строительства; конструктивных особенностей сооружения.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Наиболее популярный сегодня из численных методов решения дифференциального уравнения – метод конечных элементов (МКЭ). Все задачи в данной работе решались методом конечных элементов с использованием программного комплекса MIDAS CIVIL [8-9].

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛОДОВАНИЯ**

В данной работе рассматривалась зависимость температурного режима одиночного бетонного блока при его формировании от его размера. Были рассмотрены блоки кубической формы с размерами (2×2×2) м; (3×3×3) м; (4×4×4) м и (5×5×5) м. Поскольку исследуемый массив симметричен, для уменьшения объема вычислений в данной работе рассчитывалась 1/4 часть

конструкции. Схема исследуемой конструкции и её расчетная модель для МКЭ приведена на рисунке 1.

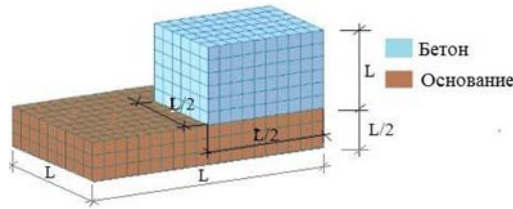


Рисунок 1. Расчетная схема блока и сетка МКЭ

Рассматривалось мгновенное возведение блока при следующих условиях: температура окружающей среды  $25^{\circ}\text{C}$  (летний период), начальная температура укладываемой бетонной смеси  $25^{\circ}\text{C}$  (без предварительного охлаждения), отсутствие специальных мероприятий для регулирования температурного режима. Принятые в расчетах характеристики бетона и грунта представлены в таблице 1. С помощью компьютерной программы MIDAS CIVIL был рассчитан температурный режим, получены максимальные температуры в бетонных блоках для четырех рассмотренных вариантов.

Таблица 1. Расчётные физические характеристики материалов

Характеристики, единицы измерения	бетон	основ.
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м.0С)	2,60	2,00
Удельная теплоемкость, кДж/(кг.0С)	0,95	0,84
Плотность материала, кг/м <sup>3</sup>	2400	2650
Коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/(м <sup>2</sup> .0С)	13,94	14,00
Модуль упругости, Н/м <sup>2</sup>	2,7.10 <sup>1</sup>	1,8.10 <sup>10</sup>

Результат анализа. некоторые результаты расчетов температурного режима бетонных блоков представлены на рис. 2 - 3. Как видно из полученных результатов, размеры блока в значительной степени влияют на величину максимальной температуры в центре массива и момент времени ее возникновения. На рис. 3 показаны графики изменения температуры в центре

бетонных блоков. Величина максимальной температуры для блока размером  $(2 \times 2 \times 2)$  м достигает величины  $69,40^{\circ}\text{C}$  через 48 часов после укладки бетона, для блока размером  $(5 \times 5 \times 5)$  м –  $86,740^{\circ}\text{C}$ . Можно также отметить достаточно быстрое остывание блока размером  $(2 \times 2 \times 2)$  м: к моменту времени 120 часов после укладки температура внутри блока равна  $27,00^{\circ}\text{C}$ , тогда как для блока размером  $(5 \times 5 \times 5)$  м она снижается только до  $75,00^{\circ}\text{C}$ . Полученные характеристики температурного режима блоков приведена на рисунке 2. Максимальные перепады температуры между центром блока и его поверхностью увеличиваются с  $30,020^{\circ}\text{C}$  в блоке размером  $(2 \times 2 \times 2)$  м до  $51,040^{\circ}\text{C}$  в блоке размером  $(5 \times 5 \times 5)$  м.

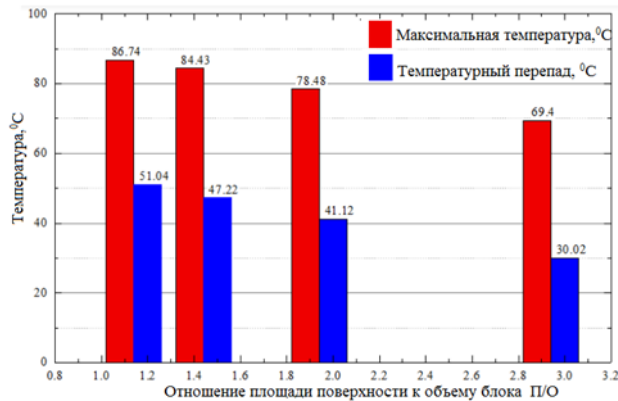


Рисунок 2. Влияние П/О на максимальную температуру и максимальных температурных перепадов бетонных блоков

Как известно [10], одним из приближенных критериев возникновения температурных трещин является условие для температурного перепада между центром блока и его поверхностью:  $T$

$> 200^{\circ}\text{C}$ . Полученные результаты показали, что во всех рассматриваемых случаях эта величина превышала  $200^{\circ}\text{C}$ , что говорит о возможном трещинообразовании. В качестве параметра для определения зависимости между максимальной температурой в центре блока и его геометрическими размерами было рассмотрено отношение площади поверхности блока к его объему приведена на рисунке 2. Очевидно, что с увеличением отношения площади поверхности к объему блока происходит снижение температуры и

температурного перепада. Эти зависимости могут быть выражены следующими линейными зависимостями (здесь  $x$  это П/О): для максимальной температуры -  $t_{\max} = -9,8x + 99$  (с точностью  $R^2 = 99,23\%$ ); для температурного перепада -  $T = -12x + 65$  (с точностью  $R^2 = 99,53\%$ ).

Подобный подход может быть использован для предварительной оценки температурного режима в соответствующих условиях.

### **ВЫВОДЫ**

На основе полученных результатов проведённых исследований можно сделать следующие выводы: Температурный режим массивной бетонной конструкции в период ее возведения в значительной степени зависит от ее размеров. С увеличением отношения площади поверхности бетонного блока к его объему происходит соответствующее снижение максимальной температуры и температурного перепада между центром блока и его поверхностью.

1. Получены математические зависимости, которые позволяют прогнозировать температурные параметры по геометрическим характеристикам блока. Для быстрой оценки температурного режима возможно составление подобных зависимостей для любых условий возведения.
2. Результаты анализа показали, что во всех рассматриваемых случаях возведения отдельных одиночных блоков при заданных условиях величина температурного перепада между центром блока и его поверхность превышала  $200^{\circ}\text{C}$ . Это говорит о возможном развитии температурных трещин. Для снижения вероятности трещинообразования необходимо принять соответствующие меры.

### **Литература**

1. Анискин Н.А. Температурный режим гравитационных плотин из укатанного бетона // Гидротехническое строительство, 2005, №12, С. 13-17.
  2. Страданченко С.Г., Плешко М.С., Армейсков В.Н. Разработка эффективных составов фибробетона для подземного строительства // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995).
  3. Цыганков А.П., Балацкий О.Ф., Сенин В.М. Технический прогресс – химия – окружающая среда. М., Химия, 1979. 296 с.
  4. П.П. Польской, Мерват Хишмах, Михуб Ахмад. О влиянии стеклопластиковой арматуры на прочность нормальных сечений изгибаемых элементов из тяжелого бетона // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 2). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1304](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1304).
  5. В.В. Кафаров. Принципы создания безотходных технологий химических производств, М.: Химия, 1982. С. 285.
  6. Д.А. Арашкевич. Вторичная переработка отходов пластмасс и специальные роторные дробилки / Пластические массы, 2003, № 5, с. 13
  7. П.П. Польской, Д.Р. Маилян. Композитные материалы - как основа эффективности в строительстве и реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 2). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307).
  8. Mackenzie K., Welter M. Geopolymer (aluminosilicate) composites: synthesis, properties and applications // Advances in Ceramic Matrix Composites. 2014. pp. 445-470.
  9. Lee M.H., Khil B.S., Yun H.D. Influence of cement type on heat of hydration and temperature rise of the mass concrete // Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, 2014, №8, pp. 536 - 542.
-

10. Шиляева О.В., Хунагов Р.А., Блягоз А.М. Моделирование устойчивости железобетонной панели // Новые технологии. - 2012. – Вып. 3. – С. 114-119.

### References

1. Aniskin N.A. *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo*, 2005, №12, pp. 13-17.
2. Stradanchenko S.G., Pleshko M.S., Armejskov V.N. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995).
3. Cygankov A.P., Balackij O.F., Senin V.M. *Tehnicheskij progress – himija – okruzhajushhaja sreda*. [Technical progress - chemistry - the environment]. M., Himija, 1979. p.296.
4. P.P. Pol'skoj, Mervat Hishmah, Mihub Ahmad. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2012, №4 (part 2). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1304](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1304).
5. V.V. Kafarov. *Principy sozdaniya bezothodnyh tehnologij himicheskikh proizvodstv*. [Principles of creation of non-waste technologies for chemical production]. M. Himija, 1982. p. 285.
6. D.A. Arashkevich. *Plasticheskie massy*, 2003, № 5, p. 13.
7. P.P.Pol'skoj, D.R. Mailjan. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2012, № 4, (part 2). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1307)
8. Mackenzie K., Welter M. *Advances in Ceramic Matrix Composites*. 2014. pp. 445-470.
9. Lee M.H., Khil B.S., Yun H.D. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 2014, №8, pp. 536 - 542.
10. Shiljaeva O.V., Hunagov R.A., Bljagoz A.M. *Novye tehnologii*. 2012. Vyp. 3. pp. 114-119.