

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Термическая трещиностойкость массивных бетонных фундаментных плит и ее обеспечение в строительный период зимой

К.В. Семенов¹, Ю.Г. Барабанщиков²

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая, 29.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 693.547.3:539.4

История

Подана в редакцию 11 января 2014
Оформлена 28 февраля 2014
Согласована февраля 2014

Ключевые слова

массивные бетонные конструкции;
железобетонные конструкции;
строительный период;
экзотермия цемента;
термонапряженное состояние;
термическая трещиностойкость;
зимнее бетонирование.

АННОТАЦИЯ

В настоящей работе рассматривается обеспечение термической трещиностойкости массивных бетонных и железобетонных конструкций уникальных зданий и сооружений в строительный период. Приведены результаты расчетного исследования термонапряженного состояния массивной фундаментной плиты реакторного отделения АЭС. Учитывается влияние температуры твердения бетона на его теплофизические и деформативные свойства. Термическая трещиностойкость бетона оценивается по деформационному критерию. Особое внимание уделено назначению безопасных технологических параметров укладки бетонной смеси в зимний период. Определена целесообразная последовательность, и сроки снятия основных теплозащитных элементов строительного периода.

Содержание

1. Введение	126
2. Цель работы и ее новизна	126
3. Постановка задачи	126
4. Исходные данные	127
5. Исследование термической трещиностойкости фундаментной плиты	128
6. Заключение	130

1. *Контактный автор:*
+7 (921) 781 1957; kvsemenov@bk.ru (Семенов Кирилл Владимирович, к.т.н., доцент)
2. +7 (812) 534 1286; ugb@mail.ru (Барабанщиков Юрий Германович, д.т.н., профессор)

1. Введение

Бетонные и железобетонные конструкции массивных зданий и сооружений в процессе их возведения подвергаются температурным воздействиям. Изменение температурного состояния таких конструкций происходит вследствие выделения теплоты гидратации цемента при твердении бетона, колебаний температуры наружного воздуха, солнечной инсоляции, технологических факторов, других причин. Возникающие температурные напряжения способны нарушать целостность конструкций [1-3, 5-17, 23-35].

Как известно, бетонирование массивных бетонных фундаментных плит и других массивных конструкций, по целому ряду технологических и производственных соображений, предпочтительно производить единым блоком по высоте. Однако это приводит к существенному разогреву массива, вследствие экзотермической реакции при твердении бетонной смеси. Возникающая при этом значительная неравномерность распределения температуры по высоте плиты, приводит к возникновению опасных растягивающих напряжений (и, соответственно, деформаций удлинения) сначала на поверхности плиты, а затем в ее центральных зонах. В этом отношении особенно опасным является зимний период [16, 17].

Расчеты термонапряженного состояния бетонных массивов в строительный период, и сама оценка трещиностойкости достаточно сложны с практической, инженерной точки зрения. Часть исследователей подходят к решению этих задач в упрощенной постановке. Так в работах [13, 15, 26] не учитываются деформации ползучести бетона, а решается термоупругая задача. В подавляющем большинстве методик, используемых в практических расчетах в настоящее время, не учитывается влияние температуры твердения на тепловыделение бетона [17, 26] и его деформативные характеристики [10, 11, 13, 32].

В качестве мер противодействия образованию высоких растягивающих напряжений в зимний период, обычно рекомендуют проведение бетонных работ во временном укрытии (тепляке) и установку теплоизоляции на поверхности бетонного блока [9, 14]. В расчетной практике имеются примеры определения оптимальных параметров теплозащиты в зимний период [16-18].

Однако, сам процесс ухода за бетоном предполагает знание безопасных сроков (в отношении образования трещин) снятия тепляка и теплоизоляции. Оптимальная последовательность (очередность) демонтажа тепляка и теплоизоляции также представляет определенный интерес. Такие расчеты в строгой постановке (с учетом влияния температуры твердения на теплофизические и деформативные характеристики бетона) в настоящее время отсутствуют.

2. Цель работы и ее новизна

Целью настоящей работы является расчетное обоснование сроков и последовательности снятия тепляка и поверхностной теплоизоляции для варианта бетонирования фундаментной плиты высотой 2,0 метра, возводимой зимой. Рассматриваемая фундаментная плита является конструкцией реакторного отделения АЭС. Высокая степень ответственности всех элементов уникальных зданий и сооружений АЭС вызывает к жизни повышенные требования к обеспечению их трещиностойкости. Расчеты термонапряженного состояния и трещиностойкости плиты учитывают влияние температуры на характеристики бетона. В качестве исходных данных по тепловыделению цемента приняты результаты экспериментальных исследований Барабанщикова Ю.Г.

3. Постановка задачи

Бетонная плита высотой 2,0 метра укладывается одним блоком по высоте на основание, состоящее из слоя бетонной подготовки на мягком грунте. Бетонирование осуществляется зимой, при отрицательных температурах воздуха, под прикрытием тепляка. Поверхности бетонной плиты укрываются специальной теплоизоляцией. Электрообогрев поверхностей отсутствует. Требуется назначить безопасные (в смысле обеспечения трещиностойкости бетона) сроки демонтажа специальной теплоизоляции и тепляка, и последовательность этого демонтажа.

Поскольку плановые размеры плит существенно превосходят их высоту, для центральной части плиты с достаточной степенью точности можно рассмотреть одномерную расчетную схему, при которой напряжение и температура являются функциями одной пространственной координаты – вертикальной (рисунок 1).

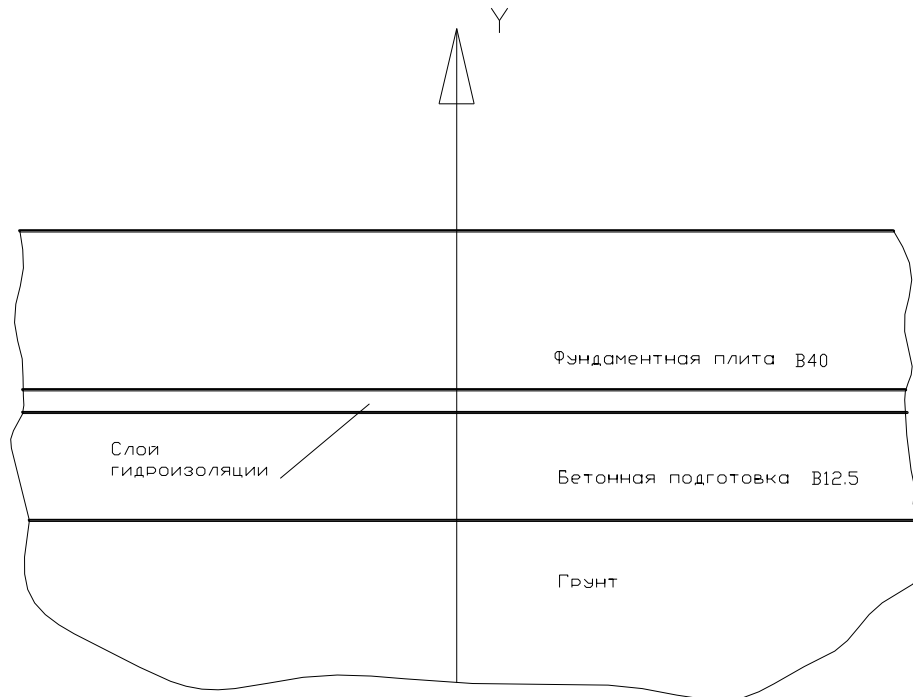


Рисунок 1. Расчетная схема задачи

Расчет термонапряженного состояния бетонной фундаментной плиты в строительный период проводился с помощью программы TERM, разработанной на кафедре строительных конструкций и материалов СПбГПУ [6]. Для оценки термической трещиностойкости бетонной фундаментной плиты будем использовать деформационный критерий, предложенный Васильевым П.И. [19-22].

4. Исходные данные

Теплофизические характеристики бетона В40 приняты следующими: теплопроводность бетона

$\lambda = 2,67 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$, удельная теплоемкость $c = 1,0 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°С)}$.

Деформативные характеристики бетона В40 приняты следующими.

Зависимость для модуля упругомгновенных деформаций бетона по данным [5]:

$$E(t) = E_{max}(1 - e^{\alpha t^\gamma}),$$

где $E_{max} = 38000 \text{ МПа}$ – предельное значение модуля деформаций бетона [18-22] (ОК свыше 8 см, крупный заполнитель 40 мм); параметры функциональной зависимости $\alpha = -0,37$, $\gamma = 0,72$; t – текущее время.

Функция релаксации по данным [5] имеет вид:

$$R(t, \tau) = A(1 - e^{-\beta \tau^\alpha}) + (B_1 + D_1 e^{-\beta \tau^\alpha}) e^{-\gamma_1(t-\tau)} + (B_2 + D_2 e^{-\beta \tau^\alpha}) e^{-\gamma_2(t-\tau)},$$

где параметры функциональной зависимости приняты следующими: $A = 0,7$; $B_1 = 0,2$; $D_1 = 0,4$; $B_2 = 0,1$; $D_2 = 0,3$; $\alpha = 0,67$; $\beta = 3,61 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$; $\gamma_1 = 1,17 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$; $\gamma_2 = 2,33 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$.

Процесс тепловыделения описывается уравнением И.Д.Запорожца [4]:

$$Q(\tau) = Q_{max} \left[1 - \left(1 + A_T \tau \right)^{\frac{1}{m-1}} \right]$$

Здесь Q_{max} является пределом, к которому стремится тепловыделение бетона; A_T – коэффициент темпа тепловыделения, характеризующий скорость тепловыделения при постоянной температуре T ; m – порядок реакции гидратации по воде, который для портландцемента в зависимости от вида применяемых добавок составляет от 1,1 до 2,3.

Тепловыделение, а также деформативные характеристики, зависят от температуры твердения. Учет влияния температуры на тепловыделение осуществляется с помощью температурной функции

$$f_T = 2^{\frac{T_1 - T_2}{\varepsilon}},$$

где ε – характеристическая температурная разность. Если, например, $T_1 - T_2 = \varepsilon$, то $f_T = 2$, то есть при повышении температуры на ε градусов скорость тепловыделения возрастает в 2 раза.

В настоящей работе используется гипотеза приведенного времени, согласно которой в моменты равных тепловыделений, т.е. при $Q_1 = Q_2$, где Q_1 и Q_2 – значения тепловыделения при температурах, соответственно, T_1 и T_2 , отношение скоростей тепловыделения, а также соответствующих сроков τ_2 и τ_1 остается постоянным на протяжении всего процесса, и равным температурной функции:

$$\frac{(\partial Q / \partial \tau)_1}{(\partial Q / \partial \tau)_2} = \frac{\tau_2}{\tau_1} = f_T = const.$$

Параметры процесса тепловыделения определялись экспериментально: удельное тепловыделение цемента $q = Q / C = 482,2$ кДж/кг; коэффициент темпа роста тепловыделения при 20 °С; $A_{20} = 2,12 \cdot 10^{-6}$ с⁻¹. Расход цемента в бетоне составлял $C = 360$ кг/м³.

В расчетах были приняты следующие технологические условия укладки бетонной смеси.

Бетонная смесь укладывается в тепляке одним блоком на высоту 2,0 м, температура в тепляке 8 С, температура бетонной смеси 8 С. На поверхности плиты укладывается теплоизоляция с приведенным коэффициентом теплопередачи $\beta_{np} = 4,8$ Вт/(м²·°С). При использовании, например, пенополистирола с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,045$ Вт/(м·°С) толщина слоя составит 0,8 см.

Температура окружающего зимнего воздуха T_{cp} принималась равной: -5 °С, -10 °С, -15 °С.

5. Исследование термической трещиностойкости фундаментной плиты

Вначале исследовался вопрос о сроках безопасного снятия тепляка, при условии, что теплоизоляция на поверхности плиты остается в течение 30 суток с момента укладки бетонной смеси. На рисунке 2 приведены графики изменения максимальных относительных деформаций удлинения на поверхности в зависимости от сроков снятия тепляка. Синяя кривая соответствует температуре воздуха -5 °С, зеленая кривая соответствует температуре -10 °С, желтая кривая отвечает температуре -15 °С. Красным цветом показана кривая предельно допустимых значений относительных деформаций растяжения. Превышение этих значений вызывает трещинообразование на поверхности бетона.

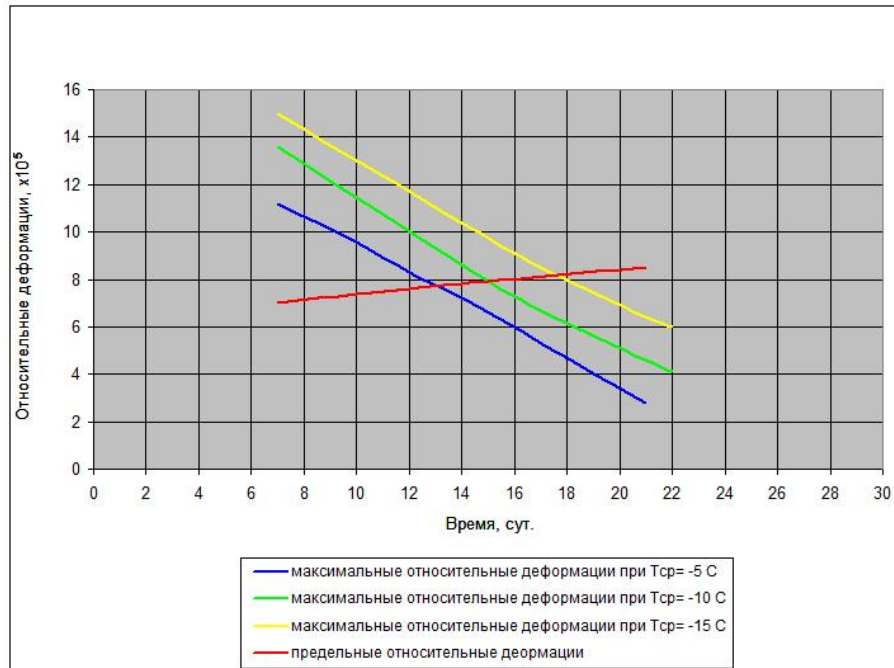


Рисунок 2. Изменение деформаций удлинения на поверхности блока бетонирования в случае снятия тепляка при $T_{cp} = -5^\circ\text{C}$, -10°C , -15°C

Из графиков на рисунке 2 видно, что при температуре воздуха -5°C , тепляк может быть снят не ранее, чем через 13 суток после бетонирования плиты, при температуре воздуха -10°C этот срок составляет не менее 15 суток, а при температуре воздуха -15°C – не менее 18 суток.

После тепляка, должна быть снята теплоизоляция бетонной плиты. Безопасное снятие теплоизоляции предполагает отсутствие трещин. Вопрос о сроках снятия теплоизоляции решался аналогичным образом. На рисунке 3 приведены графические материалы, отражающие зависимость относительных деформаций удлинения на поверхности блока бетонирования от срока снятия теплоизоляции при различных температурах: -5°C (синяя кривая); -10°C (зеленая кривая) и -15°C (желтая кривая). Срок снятия теплоизоляции считается от момента снятия тепляка. При этом безопасный срок снятия тепляка был принят, соответственно, 14, 16 и 19 суток.

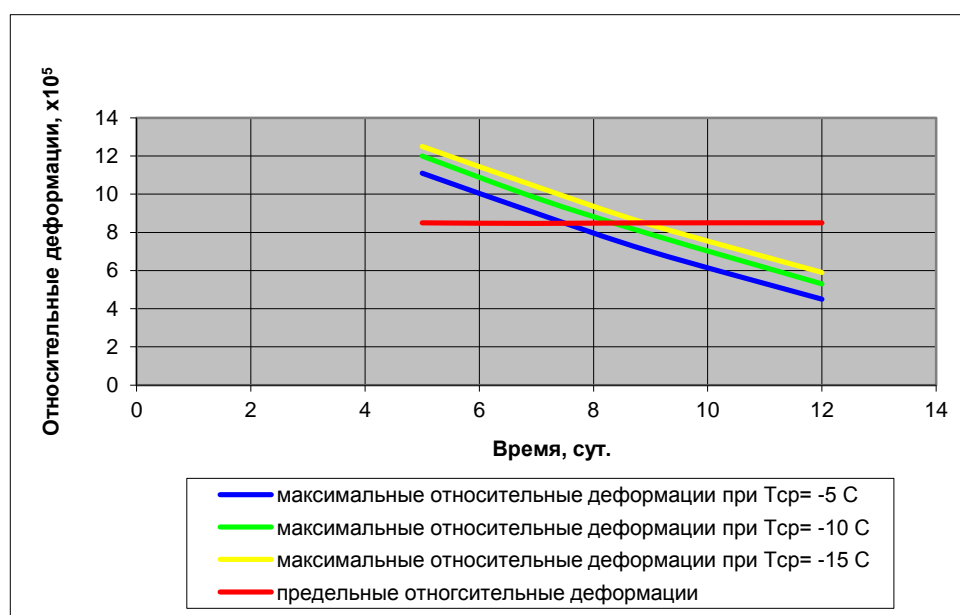


Рисунок 3. Изменение относительных деформаций удлинения на поверхности блока бетонирования при снятии теплоизоляции

Анализ графиков на рисунке 3 показывает, что при температуре воздуха -5°C , теплоизоляцию следует снимать не ранее, чем через 8 суток после снятия тепляка, при температуре воздуха -10°C и -15°C не ранее 9 суток.

Если по технологическим условиям производства работ необходимо одновременное снятие тепляка и теплоизоляции, то сроки, которые обеспечат в этом случае термическую трещиностойкость бетона в строительный период, можно видеть из графиков на рисунке 4.

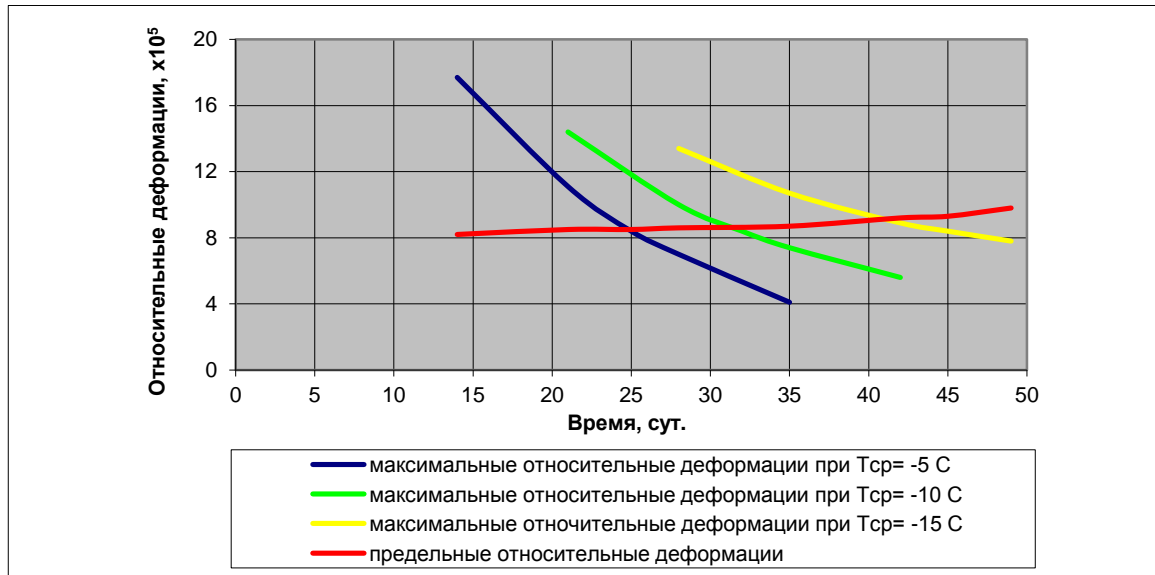


Рисунок 4. Изменение относительных деформаций удлинения на поверхности блока при одновременном снятии тепляка и теплоизоляции

Так, безопасное одновременное снятие тепляка и теплоизоляции при температуре воздуха -5°C можно осуществить не ранее 25 суток, считая с момента укладки бетонной смеси. Для температуры воздуха -10°C этот срок составит 32 суток, а для -15°C срок равняется 40 суткам.

6. Заключение

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Поэтапное снятие тепляка и поверхностной теплоизоляции является более предпочтительным, в отношении сокращения сроков возведения массивных бетонных и железобетонных конструкций при зимнем бетонировании.

2. Рекомендуемый порядок снятия теплозащитных покрытий следующий: сначала снимается тепляк, а затем, по истечении определенного времени, снимается поверхностная теплоизоляция.

3. Чем ниже температура окружающего воздуха, тем больше выигрыш в сроках при поэтапном снятии теплозащитных устройств, по сравнению с одновременным их удалением. В рассмотренном примере бетонирования фундаментной плиты, выигрыш по времени составил при температуре воздуха -5°C 4 суток, при температуре -10°C 8 суток, при температуре -15°C 13 суток.

4. Сокращение времени нахождения бетона под тепловой защитой при поэтапном ее удалении объясняется тем обстоятельством, что существует предельно допустимая скорость охлаждения, превышение которой может привести к трещинообразованию. При достаточно эффективной теплозащите эта скорость мала, что задерживает снижение температурных перепадов до безопасного значения. Снятие тепляка, так же, как и понижение температуры воздуха, повышает скорость охлаждения и позволяет сократить сроки выдержки бетона под утеплителем. Важно, чтобы скорость охлаждения при этом не превысила критического значения, что должно устанавливаться расчетом.

Таким образом, назначать безопасные (для обеспечения трещиностойкости бетона) технологические условия укладки бетонной смеси и ухода за бетоном, можно только на основании расчета термонапряженного состояния массивных конструкций в строительный период.

Литература

1. Александровский С.В. Расчёт бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учётом ползучести. М.: Стройиздат, 1973. 444 с.
2. Пуляев И.С. Методы регулирования теплового режима бетона при ускоренном возведении железобетонных элементов пилонов вантовых мостов: дисс. на соиск. учен. степ. к. т. н.: Спец. 05.23.05. М., 2010. 207 с.
3. Нгуен Д. Ж. Температурный режим бетонных гравитационных плотин : дисс. на соиск.уч.степ.к.т.н: Спец. 05.23.07. М., 2006. 176 с.
4. Запорожец И.Д., Окорочков С.Д., Парийский А.А. Тепловыделение бетона. М.: Стройиздат, 1966. 316 с.
5. Малинин Н.А. Исследование термонапряженного состояния массивных бетонных конструкций с переменными деформативными характеристиками: Дис. на соиск. учен. степ. к. т. н.: Спец. 05.23.01. Л., 1977. 186 с.
6. Семенов К.В. Температурное и термонапряженное состояние блоков бетонирования корпуса высокого давления в строительный период: Дис. на соиск. учен. степ. к. т. н.: Спец. 05.23.01. Л., 1990. 156 с.
7. Барабанщиков Ю.Г., Семенов К.В. О повышении пластичности гидротехнических бетонов // Гидротехническое строительство. 2007. №5. С. 24-28.
8. Барабанщиков Ю.Г., Семенов К.В., Шевелев М.В. Термическая трещиностойкость бетона фундаментных плит // Популярное бетоноведение. 2009. №1. С. 70-76.
9. Крылов Б.А. Некоторые вопросы технологии производства работ при применении бетона в холодное время // Технологии бетонов. 2012. №1. С. 33-35.
10. Гинзбург С.М., Шейнкер Н.Я., Добрецова И.В., Вознесенская Н.В. Исследования по термике бетонных сооружений // Известия ВНИИГ. 2011. Том. 263. С. 87-97.
11. Крат Т.Ю., Рукавишников Т.Н. Оценка температурного режима и термонапряженного состояния блоков водослива при различных условиях бетонирования // Известия ВНИИГ. 2007. т.248. С. 77-85.
12. Расчетное обоснование размеров блоков и последовательности бетонирования корпуса реактора ВГ-400 с проверкой на модели 1/5 натуральной величины / Васильев П.И., Иванов Д.А., Кононов Ю.И., Семенов К.В., Стариков О.П. // Вопросы атомной науки и техники. 1988. №1. С. 62-68.
13. Цыбин А.М. Программа быстрого расчета термонапряженного состояния системы наращиваемых бетонных блоков // Известия ВНИИГ. 2000. Том. 237. С. 69-76.
14. Трапезников Л.П. Температурная трещиностойкость массивных бетонных сооружений. М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.
15. Корсакова Л.В., Галактионов Д.Е. Термонапряженное состояние бетона фрагмента водосливной секции плотины // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Инженерные системы – 2008». – Москва, 7-11 апреля 2008 г. – М.: Изд-во РУДН, 2008. – С. 202-209.
16. Войлоков И.А., Горб А.М. Особенности проектирования и строительства контейнерных площадок в зимний период // Инженерно-строительный журнал. 2009. №6(8). С. 44-46.
17. Зиневич Л.В. Применение численного моделирования при проектировании технологии обогрева и выдерживания бетона монолитных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2011. №2(20). С. 24-28.
18. Рукавишников Т.Н., Шейнкер Н.Я. Определение оптимальных параметров теплозащиты массива при зимнем перерыве в бетонировании // Известия ВНИИГ. 2000. т.237. С. 97-101.
19. СНиП 2.06.08-87. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений.
20. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции.
21. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения.
22. СП 41.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений.
23. Altoubat S.A., Lange D.A. Creep, shrinkage, and cracking of restrained concrete at early age. // ACI Materials Journal. 2001. № 98(4). Pp. 323-331.
24. Holt E., Leivo M. Cracking risks associated with early age shrinkage // Cement and Concrete Composites. 2004. № 26(5). Pp. 521-530.

25. Jaafar.M.S, et al.. Development of finite element computer code for thermal analysis of roller compacted concrete dams //Advances in Engineering Software. 2007. № 38. Pp. 886-895.
26. Kim S.G. Effect of heat generation from cement hydration on mass concrete placement, Civil Engineering, Iowa State University, Master of Science Thesis. 2010. 126 p.
27. Larson M. Thermal crack estimation in early age concrete-models and methods for practical application. Division of Structural Engineering, Lulea University of Technology, Doctoral Thesis, 2003. 190 p.
28. Lee Y., Kim J-K. Numerical analysis of the early age behavior of concrete structures with a hydration based microplane model // Computers and Structures. 2009. № 87. Pp. 1085-1101.
29. Control of thermal cracking in mass concrete with blast-furnace slag cement / Miyazawa S., Koibuchi K., Hiroshima A., Ohtomo T., Usui T. // Concrete Under Severe Conditions (CONCEC'10). 2010 №7-9 Merida, Yucatan, Mexico. Pp. 1487-1495.
30. Ramachandran V.S., Paroli R. M., Beaudoin J. J., Delgado A. H. Handbook of Thermal Analysis of Construction Materials. USA, William Andrew Inc., 2002. 467 p.
31. Se-Jin J. Advanced Assessment of Cracking due to Heat of Hydration and Internal Restraint. // ACI Materials Journal. 2008. № 105. Pp. 325-333.
32. Shengxing W., Donghui H. Estimation of cracking risk of concrete at early age based on thermal stress analysis // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2011. Vol. 105. Issue 1. Pp. 171-186.
33. Sprince A., Pakrastinsh L., Korjakins A. Experimental study on creep of new concrete mixtures // Civil Engineering '11 - 3rd International Scientific Conference, Proceedings 3. 2011. Pp. 20-26.
34. Merge Concreting and Crack Control Analysis of Mass-concrete Base Slab of Nuclear Power Plant / Zhang Z., Zhang X., Wang X., Zhang T., Zhang X. // Applied Mechanics and Materials. 2011. № 94-96. Pp. 2107-2110.
35. Simulation and test research on merge concreting at mass-concrete base slab of nuclear power plant / Zhang X., Zhang Z., Wang J., Wang X., Zhang W., Cheng D. // 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, MACE. 2011. № 5988424. Pp. 6079-6082.

Maintenance of thermal cracking resistance in massive concrete base slabs during winter concreting

K.V. Semenov¹, Yu.G. Barabanshchikov²

Saint-Petersburg State Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.

ARTICLE INFO

Article history

Received 11 January 2014
Received in revised form 28 February
2014
Accepted February 2014

Keywords

massive concrete and reinforced
concrete structures
building period
cement setting temperature
thermal stressed state
thermal cracking resistance
cold weather concreting

ABSTRACT

The paper deals with the thermal cracking resistance of the unique constructions massive concrete structures during the building period. The paper quotes results of the calculation research of the NPP reactor base slab thermal stressed state and thermal cracking resistance. The concrete hardening temperature impact on concrete thermophysical and deformation properties is taken into consideration. The concrete thermal cracking resistance is measured in accordance with the deformation criterion. Furthermore, the work pays special attention to the safe technological parameters of cold weather concreting purpose. In addition, the article determines the viable sequence and time limits for the heat protection elements removal.

Corresponding author:

¹ +7 (921) 781 1957; kvsemenov@bk.ru (Kirill Vladimirovich Semenov, Ph. D., Associate Professor)

² +7 (812) 534 1286; ugb@mail.ru (Yuri Germanovich Barabanshchikov, D.Sc., Professor)

References

1. Aleksandrovskiy C.B. Raschet betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksiy na izmeneniya temperatury i vlazhnosti s uchetom polzuchesti [Calculation of concrete and reinforced concrete structures to changes in temperature and humidity into account creep] M.: Stroyizdat, 1973. 444 p. (rus)
2. Pulyayev I.S. *Metody regulirovaniya teplovogo rezhima betona pri uskorennom vozvedenii zhelezobetonnykh elementov pilonov vantovykh mostov* [Methods of regulating the thermal regime of the concrete at the accelerated construction of reinforced concrete elements pylon cable-stayed bridges] Ph.D. Dissertation 05.23.05. M., 2010. 207 p. (rus)
3. Nguyen D. Zh. *Temperaturnyy rezhim betonnykh gravitatsionnykh plotin* [Temperature of concrete gravity dams] Ph.D. Dissertation 05.23.07. M., 2006. 176 p. (rus)
4. Zaporozhets I.D., Okorokov S.D., Pariyskiy A.A. *Teplovyydeleniye betona* [Heat dissipation of concrete]. M.: Stroyizdat, 1966. 316 p. (rus)
5. Malinin N.A. *Issledovaniye termonapryazhennogo sostoyaniya massivnykh betonnykh konstruksiy s peremennymi deformativnymi kharakteristikami* [Investigation of thermal stress state of massive concrete structures with variable deformation characteristics] Ph.D. Dissertation 05.23.01. Leningrad, 1977. 186 p. (rus)
6. Semenov K.V. *Temperaturnoye i termonapryazhennoye sostoyaniye blokov betonirovaniya korpusa vysokogo davleniya v stroitelnyy period* [Thermal and Thermo-stressed concrete blocks condition of the pressure vessel in the construction period] Ph.D. Dissertation. 05.23.01. Leningrad, 1990. 156 p. (rus)
7. Barabanshchikov Yu.G., Semenov K.V. *O povyshenii plastichnosti gidrotekhnicheskikh betonov* [Increasing the plasticity of concrete hydraulic] // *Gidrotekhnicheskoye stroitelstvo*. 2007. №5. Pp. 24-28. (rus)
8. Barabanshchikov Yu.G., Semenov K.V., Shevelev M.V. *Termicheskaya treshchinostoykost betona fundamentnykh plit* [Thermal fracture of concrete foundation slabs] // *Populyarnoye betonovedeniye*. 2009. №1. Pp. 70-76. (rus)
9. Krylov B.A. *Nekotoryye voprosy tekhnologii proizvodstva rabot pri primenenii betona v kholodnoye vremya* [Some questions of production technology in the application of concrete works in cold conditions] // *Tekhnologii betonov*. 2012. №1. Pp. 33-35. (rus)
10. *Issledovaniya po termike betonnykh sooruzheniy* [Studies on thermals concrete structures] / Ginzburg S.M., Sheynker N.Ya., Dobretsova I.V., Voznesenskaya N.V. // *Izvestiya VNIIG*. 2011. Vol. 263. Pp. 87-97. (rus)
11. Krat T.Yu., Rukavishnikova T.N. *Otsenka temperaturnogo rezhima i termonapryazhennogo sostoyaniya blokov vodosliva pri razlichnykh usloviyakh betonirovaniya* [Evaluation of temperature and thermal stress state spillway blocks under various conditions concreting] // *Izvestiya VNIIG*. 2007. Vol. 248. Pp. 77-85. (rus)
12. *Raschetnoye obosnovaniye razmerov blokov i posledovatelnosti betonirovaniya korpusa reaktora VG-400 s proverkoj na modeli 1/5 naturalnoy velichiny* [Design substantiation of block sizes and consistency concrete reactor vessel HS -400 model with a check for 1/5 of the original size] / Vasilyev P.I., Ivanov D.A., Kononov Yu.I., Semenov K.V., Starikov O.P. // *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki*. 1988. №1. Pp. 62-68. (rus)
13. Tsybin A.M. *Programma bystrogo rascheta termonapryazhennogo sostoyaniya sistemy narashchivayemykh betonnykh blokov* [The program quickly calculate thermal stress state of stackable concrete blocks] // *Izvestiya VNIIG*. 2000. Vol. 237. Pp. 69-76. (rus)
14. Trapeznikov L.P. *Temperaturnaya treshchinostoykost massivnykh betonnykh sooruzheniy* [Temperature cracking of massive concrete structures] M.: *Energoatomizdat*, 1986. 272 p. (rus)
15. Korsakova L.V., Galaktionov D.Ye. *Termonapryazhennoye sostoyaniye betona fragmenta vodoslivnoy sektsii plotiny* [Galaktionov Thermo-stressed condition of concrete spillway section of the dam fragment] // *Trudy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Inzhenernyye sistemy – 2008»*. M.: *Izd-vo RUDN*, 2008. Pp. 202-209. (rus)
16. Voilokov I.A., Gorb A.M. Particular qualities of the container yards design and construction in winter // *Magazine of Civil Engineering*. 2009. №6(8). Pp. 44-46. (rus)
17. Zinevich L.V. Application of numerical modeling at technology designing of heating and solidification of concrete in monolithic structures // *Magazine of Civil Engineering*. 2011. №2(20). Pp. 24–28. (rus)
18. Rukavishnikova T.N., Sheynker N.Ya. *Opredeleniye optimalnykh parametrov teplozashchity massiva pri zimnem pereryve v betonirovanii* [Determination of optimal parameters of the thermal protection of the array at the winter break in the concreting] // *Izvestiya VNIIG*. 2000. Vol. 237. Pp. 97-101. (rus)
19. SNiP 2.06.08-87. *Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Concrete and reinforced concrete design of hydraulic structures]. (rus)

20. SNiP 52-01-2003. *Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii* [Concrete and reinforced concrete structures]. (rus)
21. SP 52-101-2003. *Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii bez predvaritel'nogo napryazheniya* [Concrete and reinforced concrete structures without stressing]. (rus)
22. SP 41.13330.2012. *Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Concrete and reinforced concrete design of hydraulic structures]. (rus)
23. Altoubat S.A., Lange D.A. Creep, shrinkage, and cracking of restrained concrete at early age. // *ACI Materials Journal*. 2001. № 98(4). Pp. 323-331.
24. Holt E., Leivo M. Cracking risks associated with early age shrinkage // *Cement and Concrete Composites*. 2004. № 26(5). Pp. 521-530.
25. Jaafar.M.S, et al. Development of finite element computer code for thermal analysis of roller compacted concrete dams // *Advances in Engineering Software*. 2007. № 38. Pp. 886-895.
26. Kim S.G. Effect of heat generation from cement hydration on mass concrete placement, Civil Engineering, Iowa State University, Master of Science Thesis. 2010. 126 p.
27. Larson M. Thermal crack estimation in early age concrete-models and methods for practical application. Division of Structural Engineering, Lulea University of Technology, Doctoral Thesis, 2003. 190 p.
28. Lee Y., Kim J-K. Numerical analysis of the early age behavior of concrete structures with a hydration based microplane model // *Computers and Structures*. 2009. № 87. Pp. 1085-1101.
29. Control of thermal cracking in mass concrete with blast-furnace slag cement / Miyazawa S., Koibuchi K., Hiroshima A., Ohtomo T., Usui T. // *Concrete Under Severe Conditions (CONCEC'10)*. 2010 №7-9 Merida, Yucatan, Mexico. Pp. 1487-1495.
30. Ramachandran V.S., Paroli R. M., Beaudoin J. J., Delgado A. H. *Handbook of Thermal Analysis of Construction Materials*. USA, William Andrew Inc., 2002. 467 p.
31. Se-Jin J. Advanced Assessment of Cracking due to Heat of Hydration and Internal Restraint. // *ACI Materials Journal*. 2008. № 105. Pp. 325-333.
32. Shengxing W., Donghui H. Estimation of cracking risk of concrete at early age based on thermal stress analysis // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2011. Vol. 105. Issue 1. Pp. 171-186.
33. Sprince A., Pakrastinsh L., Korjakins A. Experimental study on creep of new concrete mixtures // *Civil Engineering '11 - 3rd International Scientific Conference, Proceedings 3*. 2011. Pp. 20-26.
34. Merge Concreting and Crack Control Analysis of Mass-concrete Base Slab of Nuclear Power Plant / Zhang Z., Zhang X., Wang X., Zhang T., Zhang X. // *Applied Mechanics and Materials*. 2011. № 94-96. Pp. 2107-2110.
35. Simulation and test research on merge concreting at mass-concrete base slab of nuclear power plant / Zhang X., Zhang Z., Wang J., Wang X., Zhang W., Cheng D. // *2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, MACE*. 2011. № 5988424. Pp. 6079-6082.