

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Эффект температурного воздействия в расчетах термонапряженного состояния дискретно наращиваемых бетонных тел

К.В. Семенов¹, И.А. Константинов², А.В. Савченко³, К.А. Кокорева⁴, А.А. Нестеров⁵

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

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 693.547.3:539.4 Научная статья	Подана в редакцию 20 марта 2015 Принята 26 апреля 2015	термонапряженное состояние, дискретно наращиваемые бетонные тела, бетонные блоки, температурный эффект, гипотеза приведенного времени, кривые релаксации, метод упругих решений

АННОТАЦИЯ

В настоящей статье приводится методика расчета термонапряженного состояния системы дискретно наращиваемых бетонных блоков в строительный период. Массивные бетонные конструкции, возводимые поблочно, испытывают влияние изменения температуры. Рассмотрена задача в одномерной постановке. Плановые размеры блоков значительно превосходят их высоту. Изменение температур и напряжений происходит вдоль вертикальной оси. Основание системы блоков абсолютно податливое.

Содержание

1.	Введение	19
2.	Методика расчета термонапряженного состояния дискретно наращиваемых бетонных тел	19
3.	Заключение	23

4

Контактный автор:

+7 (921) 408 0543, kseniia.kokoreva@gmail.com (Кокорева Ксения Александровна, студент)

1

+7 (921) 781 1957, kvsemenov@bk.ru (Семенов Кирилл Владимирович, к.т.н., доцент)

2

+7 (911) 971 4847, konst.1930@yandex.ru (Константинов Игорь Алексеевич, к.т.н., профессор)

3

+7 (911) 115 3597, ya.int@yandex.ru (Савченко Алексей Владимирович, ассистент)

5

+7 (952) 2036624, artyom_nesterov@mail.ru (Нестеров Артем Андреевич, студент)

1. Введение

Изменение температурного состояния тела вследствие тепла гидратации цемента, колебаний температуры наружного воздуха и других причин приводит к изменению его объема и возникновению термонапряжений [1-7]. Возникающие температурные напряжения способны нарушать целостность конструкций [8-13]. Это очень важно отметить, при решении задач, в холодных климатических зонах для таких конструкций, как: плотины, трубопроводы [14-20].

В научной литературе обсуждаются проблемы температурного воздействия на различные бетонные тела [1-29]. В настоящей статье авторами предложена методика расчета термонапряженного состояния дискретно наращиваемых бетонных тел.

2. Методика расчета термонапряженного состояния дискретно наращиваемых бетонных тел

Как известно, задача определения термонапряжений решается поэтапно: сначала определяются температурные поля, а затем напряжения. Температурные поля можно получить из неоднородного дифференциального уравнения теплопроводности (1).

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{c\gamma} \frac{\partial Q}{\partial t}, \quad (1)$$

где Q – тепловыделение бетона.

Уравнение решается методом конечных разностей по двухслойной явной схеме с 4-точечным шаблоном. Результат может быть представлен в виде (2):

$$T_{i,t+\Delta t} = \frac{a\Delta t}{\Delta z^2} (T_{i-1,t} - 2T_{i,t} + T_{i+1,t}) + T_{i,t} + \Delta T_{\Delta t,i}, \quad (2)$$

Конечно-разностный вид приращения температуры за счет экзотермии цемента принят согласно теории тепловыделения И.Д. Запорожца [21].

Начальные условия сводятся к заданию температуры бетонной смеси в момент укладки. На границе типа «блок-блок» рассмотрены граничные условия IV рода, на границе типа «поверхность блока – окружающая среда» - граничные условия III рода. Влияние «температурной истории» на тепловыделение учитывается согласно гипотезе приведенного времени (3).

$$t_{giv} = \int_0^{t_1} F_a [T(t)] dt, \quad (3)$$

где $T(t)$ – температура твердения бетона, F_a – функция влияния температуры на тепловыделение.

При определении термонапряжений считается справедливой гипотеза плоских сечений, имеющая смысл неразрывности деформаций (4).

$$\varepsilon(z, t, \tau) = \varepsilon_x(z, t, \tau) = \varepsilon_y(z, t, \tau) = \varepsilon_0(t, \tau) + \beta(t, \tau)[z - z_0(t, \tau)], \quad (4)$$

где $\varepsilon_0(t, \tau)$ - относительная деформация в точке с координатой $z_0(t, \tau)$, определяющей положение центра тяжести приведенного сечения блоков; $z_0(t, \tau)$ определяется как отношение приведенного статического момента сечения $S_{пр}$ к приведенной площади сечения.

В случае температурных воздействий деформации $\varepsilon(z, t, \tau)$ можно представить в виде (5):

$$\varepsilon(z, t, \tau) = \alpha_T T(z, t) + \varepsilon_H(z, t, \tau), \quad (5)$$

где $\varepsilon_H(z, t, \tau)$ – деформация, вызванная нормальными напряжениями.

Нормальные напряжения $\sigma(z, t)$ определяются по формуле (6):

$$\sigma(z, t) = \sigma_x(z, t) = \sigma_y(z, t), \quad (6)$$

Подставляя (5) в (4), можно получить (7):

$$\varepsilon_H(z, t, \tau) = -\alpha_T T(z, t) + \varepsilon_0(t, \tau) + \beta(t, \tau) \times [z - z_0(t, \tau)], \quad (7)$$

Уравнение связи между напряжениями и деформациями с учетом ползучести бетона согласно линейной наследственной теории старения запишется в виде, предложенном П.И. Васильевым (8) [22]:

$$\sigma(z, t) = \frac{1}{1 - \nu} \int_0^t \frac{\partial \varepsilon_H(z, t, \tau)}{\partial t} E(z, \tau) R(z, t, \tau) d\tau, \quad (8)$$

Учет влияния температурной истории на модуль упруго-мгновенных деформаций ведется согласно гипотезе «приведенного» времени. Уравнение равновесия можно выразить через напряжения $\sigma(z, t)$ из условия статической эквивалентности нулю температурных усилий по сечению блоков (9):

$$\int_0^h \sigma(z, t) dz = 0; \quad \int_0^h \sigma(z, t) [z - z_0(t, \tau)] dz = 0. \quad (9)$$

Подставляя (7) и (8) в (9), получим систему из двух интегродифференциальных уравнений. Решая систему и принимая метод конечных разностей и численное интегрирование, можно получить зависимость для определения $\sigma(z, t)$.

Экспериментальные исследования, проведенные П.И. Васильевым и Б.А. Гаврилиным [23], показали, что повышение температуры влияет на скорость деформации ползучести. Было предложено учесть это обстоятельством, заменяя действительное время приведенным (10):

$$t_{giv} = \int_0^{t_1} F [T(t)] dt \quad (10)$$

Б.А. Гаврилиным [24] было показано, что таким же образом можно учесть влияние температуры с помощью функции релаксации $R(T, \tau)$. Функция релаксации, предложенная П.И. Васильевым [22], с учетом гипотезы приведенного времени имеет вид (11):

$$R(t, \tau) = A \left(1 - e^{-\beta t_{giv}^\alpha} \right) + \left(B_1 + D_1 e^{-\beta t_{giv}^\alpha} \right) \times e^{-\gamma_1 (t_{giv} - \tau_{giv})} + \left(B_2 + D_2 e^{-\beta t_{giv}^\alpha} \right) \times e^{-\gamma_2 (t_{giv} - \tau_{giv})}, \quad (11)$$

В работе [25] показано, что в случае переменных, повышающихся во времени температур применение гипотезы «приведенного» времени дает занижение величины деформации ползучести и не отражает наблюдаемого в опытах интенсивного нарастания деформации ползучести бетона после повышения температур (эффект «температурного последействия»).

Приведем методику построения кривых мер ползучести в рамках теории упруго ползучего тела для монотонно возрастающих температур. Рассмотрим график изменения температур $T(t)$ в каком-либо узле сетки, введенной в блок (рис., а). Будем считать, что блок уложен в момент времени τ_0 , а в момент времени τ_{max} температура в узле достигает максимального значения τ_{max} . Процедура построения кривых $C^*(t, \tau)$ с учетом эффекта «температурного последействия» распространяется на интервал $[\tau_0, \tau_{max}]$. В интервале $[\tau_{max}, \infty]$ кривые строятся с учетом гипотезы «приведенного времени».

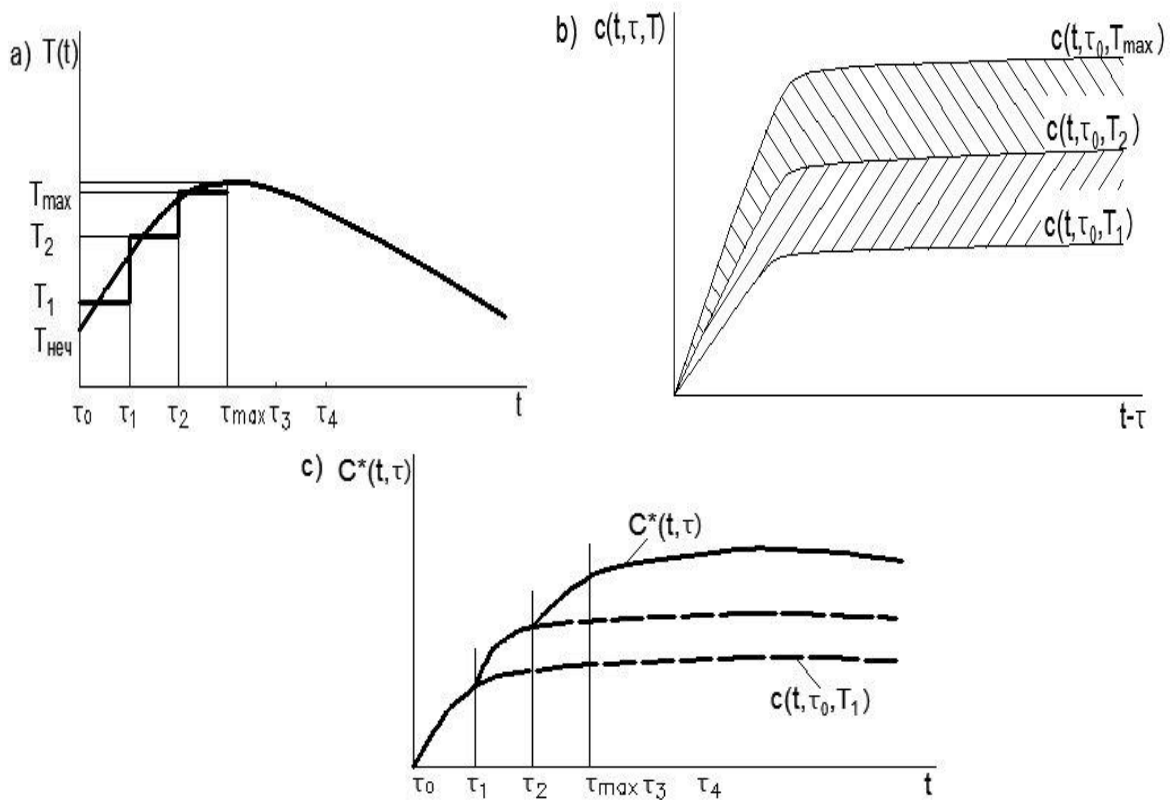


Рисунок 1. Схема построения $C^*(t, \tau)$

Введем шаг по времени Δt и аппроксимируем кривую в интервале $[\tau_0, \tau_{max}]$ некоторой ступенчатой линией (рисунок 1а). В пределах каждого шага будем считать температуру постоянной. Мера ползучести стареющего бетона при постоянной температуре принимается в данной методике следующей (12):

$$c(t, \tau, T) = K(T, t - \tau) \int_{\tau}^t \varphi(\xi_{giv}) f(\xi - \tau) d\xi, \quad (12)$$

где $\varphi(\xi)$ – функция, характеризующая старение бетона в условиях постоянной влажности и температуры;
 $K(T, t - \tau)$ – функция, учитывающая влияние температуры на изменение вязкости геля и связанной воды;
 $f(\xi - \tau)$ - описывает влияние длительности нагружения.

После выделения участков постоянства температур T_1, T_2, T_{max} строится семейство кривых $c(t, \tau, T)$. Каждая из кривых этого семейства, описанная зависимостью (12), отвечает соответствующей постоянной температуре T_1, T_2, T_{max} (см. рисунок 1б). Далее от кривой $c(t, \tau, T)$, начиная от точки пересечения с прямой $t = \tau_1$, нужно отложить вверх разности между кривыми $c(t, \tau, T_2)$ и $c(t, \tau, T_1)$; при этом разности нужно отсчитывать, начиная от $t = \tau_0$ до конца исследуемого отрезка времени. Иначе говоря, следует фигуру, заштрихованную восходящими штрихами на рис., 1б сдвинуть по кривой $c(t, \tau, T_1)$ до тех пор, пока начало фигуры не придет в точку а. Аналогичную операцию нужно провести с разностью ординат кривых $c(t, \tau, T_{max})$ и $c(t, \tau, T_2)$ (рис., 1 б) – участок между кривыми ползучести заштрихованных нисходящими штрихами. Аналитически кривая $C^*(t, \tau)$ (рис., 1в) может быть представлена в виде (13):

$$\begin{aligned} C^*(t, \tau) &= c(t, \tau, T_1), & t \in [\tau_0, \tau_1], \\ C^*(t, \tau) &= c(t, \tau_0, T_1) + \delta_1, & t \in (\tau_1, \tau_2], \end{aligned} \quad (13)$$

где:

$$\delta_1 = c(t, \tau_0, T_2) - c(t, \tau_0, T_1), \quad t \in (\tau_0, \tau_1],$$

$$C^*(t, \tau) = c(t, \tau_0, T_1) + \delta_1 + \delta_2, \quad t \in (\tau_2, \tau_{max}],$$

$$\delta_1 = c(t, \tau_0, T_2) - c(t, \tau_0, T_1), \quad t \in (\tau_1, \tau_2],$$

$$\delta_2 = c(t, \tau_0, T_{max}) - c(t, \tau_0, T_2), \quad t \in (\tau_0, \tau_1]$$

Во всех последующих интервалах времени $C^*(t, \tau)$ описывается аналогично представлению в интервале $(\tau_{max}, \tau_3]$ (14):

$$C^*(t, \tau) = c(t, \tau_0, T_1) + \delta_1 + \delta_2, \quad t \in (\tau_i, \tau_{i+1}],$$

где:

$$\delta_1 = c(t, \tau_0, T_2) - c(t, \tau_0, T_1), \quad t \in (\tau_{i-1}, \tau_i];$$

$$\delta_2 = c(t, \tau_0, T_{max}) - c(t, \tau_0, T_2), \quad t \in (\tau_{i-2}, \tau_{i-1}].$$
(14)

Построение любой другой кривой $C^*(t, \tau), \tau \in [\tau_0, \tau_{max})$, аналогично описанной процедуре. Кривые релаксации, необходимые для реализации методики определения термонапряжений, могут быть получены теоретически [26] на основании кривых ползучести. Для нахождения кривых релаксации $R(t, \tau_i)$ требуется решение интегральных уравнений вида (15):

$$\frac{1}{E(\tau_i)} = \frac{\sigma(t)}{E(t)} - \int_{\tau_i}^t \sigma(\tau_i) \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{1}{E(\tau_i)} + c(t, \tau_i) \right] dt$$
(15)

Были созданы две программы расчета термонапряженного состояния системы дискретно наращиваемых блоков для ЭВМ на языке ФОРТРАН-1У. Одна реализует учет влияния температуры на ползучесть бетона согласно гипотезе приведенного времени (10), другая - учитывает эффект «температурного последствия» (13).

Был просчитан ряд вариантов укладки бетона В40 в блоки. Рассматривалась система из 4 блоков. Варианты отличались временем перекрытия блоков, начальной температурой бетона, температурой окружающей среды. Анализ результатов показал, что учет эффекта «температурного последствия» (по сравнению с применявшейся ранее гипотезой приведенного времени) снижает величины термонапряжений. Максимальная величина снижения – 20 %.

Применяемая выше теория ползучести характеризуется тем, что связывает напряжения и деформации линейным образом. Хотя нелинейные деформации характерны для напряжений, близких к разрушающим, они в некоторой мере проявляются и при малых величинах напряжений (слабая нелинейность). В связи с этим возникает необходимость применения нелинейной теории ползучести [27].

За основу этой теории будем принимать предложение об аффинном подобии кривых ползучести при различных, но постоянных во времени напряжениях, и принцип наложения.

Аффинное подобие кривых роста деформации ползучести при постоянных напряжениях заключается в том, что кривая, соответствующая одним напряжениям, может быть получена из кривой, соответствующей другим напряжениям, путем умножения ординат последней на некоторый постоянный множитель, зависящий от величины напряжений. Он определяется величиной функции $\varphi(\sigma)$.

Принцип наложения в области нелинейных деформаций понимается в том смысле, что приращения деформаций, вызванные некоторым приращением $\Delta \sigma$, считаются не зависящими от того, когда и в течение какого времени действовали остальные приращения напряжений. При этом учитывается влияние действующего напряжения.

Деформации ползучести представляются в виде суммы двух слагаемых (16) [28]:

$$\varepsilon_{пс} = \varepsilon_{rev} + \varepsilon_{irrev},$$
(16)

Первое слагаемое описывает те деформации $\varepsilon_{обр}$, которые полностью обратимы при отсутствии старения. Поскольку в задаче рассматривается строительный период и тем самым ранний возраст бетона, то существенное значение приобретает старение, т.е. уменьшение деформативной способности с увеличением возраста бетона. Первый член суммы имеет вид линейной наследственной зависимости с учетом старения бетона [29]:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_x(t)}{E(t)} - \int_{\tau_0}^t \sigma_x(\tau) \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{1}{E(\tau)} + c(t, \tau) \right] d\tau \quad (17)$$

и описывает частично необратимые деформации.

Второй член суммы (16) описывает существенно необратимые деформации нелинейной зависимостью [27]:

$$\varepsilon_{\text{irrev}} = \int_0^{\sigma_{\text{max}}} \varphi[\sigma_x(t)] F(t) d\tau, \quad (18)$$

где $F(t)$ - аналитическое выражение кривой ползучести при постоянном напряжении $\sigma = 1$ с учетом старения бетона, а под величиной t подразумевается суммарная длительность пребывания материала под напряжениями, превышающими некоторый уровень $\sigma_x(t)$.

3. Заключение

Влияние повышающихся во времени температур на деформации ползучести $\varepsilon_{\text{п}}$ предлагается учесть следующим образом: на деформации $\varepsilon_{\text{обр}}$ с помощью гипотезы «приведенного» времени, на деформации $\varepsilon_{\text{необр}}$ – используя зависимости, описывающие эффект «температурного последствия».

Для реализации задачи учета нелинейных деформаций ползучести предлагается шаговый метод упругих решений.

Литература

- [1]. Petrichenko M.R., Petrichenko R.M. Convective heat and mass transfer in combustion chambers of piston engines. Basic results. (1991) Heat transfer – Soviet Research, Vol. 23, No. 5, Pp. 703-714.
- [2]. Rybakov V., Panteleev A., Sharbabchev G., Epshtein E. Show-retaining system as a temporary decision for providing of the suitable temperature and humidity level of pitched roofs. (2014) Applied Mechanics and Materials, Vol. 584-586, Pp. 982-990.
- [3]. Kitaeva D.A., Rudaev Y.I., Ordobaev B.S., Abydkееva S.S. Modeling of Concrete Behavior under Compression. (2014) Applied Mechanics and Materials, Vol. 725-726, Pp. 623-628.
- [4]. 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.
- [5]. 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.
- [6]. 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.
- [7]. Se-Jin J. Advanced Assessment of Cracking due to Heat of Hydration and Internal Restraint. // ACI Materials Journal. 2008. № 105. Pp. 325-333.
- [8]. Барабанщиков Ю.Г., Семенов К.В. О повышении пластичности гидротехнических бетонов // Гидротехническое строительство. 2007. №5. С. 24-28.
- [9]. Барабанщиков Ю.Г., Семенов К.В., Шевелев М.В. Термическая трещиностойкость бетона фундаментных плит // Популярное бетоноведение. 2009. №1. С. 70-76
- [10]. Крылов Б.А. Некоторые вопросы технологии производства работ при применении бетона в холодное время // Технологии бетонов. 2012. №1. С. 33-35.
- [11]. 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
- [12]. 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.
- [13]. Korsun, V., Vatin, N., Korsun, A., Nemova, D. Physical-mechanical properties of the modified fine-grained concrete subjected to thermal effects up to 200 °C (2014) Applied Mechanics and Materials, 633-634, pp. 1013-1017.
- [14]. Benin A.V., Semenov A.S., Semenov S.G. Fracture analysis of reinforced concrete bridge structures with account of concrete cracking under steel corrosion. (2014) Advanced Materials Research, vol. 831, pp. 364–369.
- [15]. Лалин В. В., Яваров А. В. Современные технологии расчета магистральных трубопроводов // Инженерно-строительный журнал. 2010. №3. С. 43-47.
- [16]. Лалин В. В., Яваров А. В. Расчетное обоснование конструкции надземного участка газопровода в условиях Крайнего Севера // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2010. Т. 257. С. 112-115.
- [17]. Лалин В.В., Савченко А.В., Зданчук Е.В., Яваров А.В., Беляев Д.И., Расчет напряженно-деформированного состояния арочно-гравитационной плотины в программном комплексе SOFiSTiK // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 7. С. 30-37.
- [18]. Колосова Г.С., Лалин В.В., Колосова А.В., Влияние строительных швов и трещин на напряженно-деформированное состояние арочно-гравитационной плотины // Инженерно-строительный журнал. 2013. №5. С. 76-85.
- [19]. Semenov, K., Barabanshchikov, Y. Thermal Cracking Resistance in Massive Concrete Structures in the Winter Building Period (2015) Applied Mechanics and Materials, 725-726, pp. 431-441.
- [20]. Leger, P., Venturelli, J., Bhattacharjee, S. S., Seasonal temperature and stress distributions in concrete gravity dams. (1993) Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 20, pp. 999-1029.
- [21]. Запорожец И. Д. Основы теории теплопроводности бетона // Научно-техническое совещание по изучению свойств бетона, определяющих его трещиностойкость в массивных гидротехнических сооружениях. 1963. – С. 38-51.

- [22]. Васильев П. И. Экспериментальные исследования деформаций бетона при ступенчатом нагружении // Изв. ВНИИГ. 1962. Т. 72. С. 133-141.
- [23]. Васильев П. И., Гаврилин Б. А. Влияние температуры на ползучесть стареющего бетона // Ползучесть и усадка бетона. – М.: Стройиздат. 1969. С. 9-20.
- [24]. Гаврилин Б. А. Влияние температуры на ползучесть стареющего бетона // Труды ЛПИ. 1968. № 292. С. 79-83.
- [25]. Васильев П. И., Гаврилин Б. А. Влияние температуры на ползучесть бетона // Третий координационный совет по гидротехнике // ВНИИГ. 1975. Вып. 103. С. 97-99.
- [26]. Васильев П. И. Связь между напряжениями и деформациями в бетоне при сжатии с учетом влияния времени // Известия ВНИИГ. 1951. Т. 45. С. 78-92.
- [27]. Васильев П. И. Нелинейные деформации ползучести бетона // Известия ВНИИГ. 1971. Т. 95. С. 59-69.
- [28]. Васильев П. И. Приближенный способ учета деформации ползучести при определении температурных напряжений в бетонных массивных плотинах // Известия ВНИИГ. 1952. Т. 47. С. 120-129.
- [29]. Васильев П. И. Некоторые вопросы ползучести бетона: Автореф. дис. доктора техн. наук. Л.: ЛПИ. 1963. – 29 с.

The effect of temperature influence in calculations of a thermostressed state of discretely increased concrete bodies

K.V. Semenov¹, I.A. Konstantinov², A.V. Savchenko³, K.A. Kokoreva⁴, A.A. Nesterov⁵

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

ARTICLE INFO

Original research article

Article history

Received 20 March 2015
Accepted 26 April 2015

Keywords

thermostressed state,
discrete stackable concrete blocks,
temperature-effect,
hypothesis of the "given" time,
relaxation curves,
method of elastic decisions

ABSTRACT

This paper presents the method of calculating the thermal stress state of the system of discrete stackable concrete blocks in the construction period. Massive concrete structures built block by block, are influenced by changes in temperature. The task in one-dimensional formulation is examined. The planned sizes of blocks considerably exceed their height. Change of temperatures and tension occurs along the vertical axis. The base of the system of blocks is absolutely malleable.

4

Corresponding author:

+7 (921) 408 0543, ksenia.kokoreva@gmail.com (Ksenia Aleksandrovna Kokoreva, Student)

1

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

2

+7 (911) 971 4847, konst.1930@yandex.ru (Irog Alekseevich Konstantinov, Ph.D., Professor)

3

+7 (911) 115 3597, ya.int@yandex.ru (Aleksey Vladimirovich Savchenko, Assistant)

5

+7 (952) 2036624, artyom_nesterov@mail.ru (Artem Andreevich Nesterov, Student)

References

- [1]. Petrichenko M.R., Petrichenko R.M. Convective heat and mass transfer in combustion chambers of piston engines. Basic results. (1991) Heat transfer – Soviet Research, Vol. 23, No. 5, Pp. 703-714.
- [2]. Rybakov V., Panteleev A., Sharbabchev G., Epshtein E. Show-retaining system as a temporary decision for providing of the suitable temperature and humidity level of pitched roofs. (2014) Applied Mechanics and Materials, vol. 584-586, Pp. 982-990.
- [3]. Kitaeva D.A., Rudaev Y.I., Ordobaev B.S., Abdykeeva S.S. Modeling of Concrete Behavior under Compression. (2014) Applied Mechanics and Materials, vol. 725-726, Pp. 623-628.
- [4]. 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.
- [5]. 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.
- [6]. 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.
- [7]. Se-Jin J. Advanced Assessment of Cracking due to Heat of Hydration and Internal Restraint. // ACI Materials Journal. 2008. Vol. 105. Pp. 325-333.
- [8]. 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)
- [9]. Barabanshchikov Yu.G., Semenov K.V., Shevelev M.V. *Termicheskaya treshchinostoykost betona fundamentnykh plit* [Thermal fracture of concrete foundation slabs] // *Populyarnoye betonovedeniye*. 2009. Vol. 1. Pp. 70-76. (rus)
- [10]. 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. Vol. 1. Pp. 33-35. (rus)
- [11]. *Issledovaniya po termike betonnykh sooruzheniy* [Studies on thermals concrete structures] / Ginzburg S.M., Sheyner N.Ya., Dobretsova I.V., Voznesenskaya N.V. // *Izvestiya VNIIG*. 2011. Vol. 263. Pp. 87-97. (rus)
- [12]. Korsakova L.V., Galaktionov D.Ye. *Termonapryazhennoye sostoyaniye betona fragmenta vodoslivnoy seksii 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)
- [13]. Korsun, V., Vatin, N., Korsun, A., Nemova, D. Physical-mechanical properties of the modified fine-grained concrete subjected to thermal effects up to 200S (2014) Applied Mechanics and Materials, 633-634, Pp. 1013-1017.
- [14]. Benin A.V., Semenov A.S., Semenov S.G. Fracture analysis of reinforced concrete bridge structures with account of concrete cracking under steel corrosion. (2014) Advanced Materials Research, vol. 831, Pp. 364–369.
- [15]. Lalin V. V., Yavarov A. V. *Sovremennyye tekhnologii rascheta magistralnykh truboprovodov* [Modern technologies of calculation of main pipelines] // *Magazine of Civil Engineering*. 2010. Vol. 3. Pp. 43-47. (rus)
- [16]. Lalin V. V., Yavarov A. V. *Raschetnoye obosnovaniye konstruksii nadzemnogo uchastka gazoprovoda v usloviyakh Kraynego Severa* [Estimated substantiation of aboveground section design of the pipeline in the Far North] // *Izvestiya VNIIG im. B.Ye. Vedeneyeva*. 2010. Vol. 257. Pp. 112-115. (rus)
- [17]. Lalin V.V., Savchenko A.V., Zdanchuk Ye.V., Yavarov A.V., Belyayev D.I., *Raschet napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya arochno-gravitatsionnoy plotiny v programnom komplekse SOFiSTiK* [The calculation of the stress-strain state of arch-gravity dam in the software package SOFiSTiK] // *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2013. Vol. 7. Pp. 30-37. (rus)
- [18]. Kolosova G.S., Lalin V.V., Kolosova A.V., Vliyaniye stroitelnykh shvov i treshchin na napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye arochno-gravitatsionnoy plotiny [Influence of construction joints and cracks on the stress-strain state of arch-gravity dam] // *Magazine of Civil Engineering* 2013. №5. Pp. 76-85. (rus)
- [19]. Semenov, K., Barabanshchikov, Y. Thermal Cracking Resistance in Massive Concrete Structures in the Winter Building Period (2015) Applied Mechanics and Materials, 725-726, Pp. 431-441.
- [20]. Leger, P., Venturelli, J., Bhattacharjee, S. S., Seasonal temperature and stress distributions in concrete gravity dams. (1993) Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 20, Pp. 999-1029.

- [21]. Zaporozhets I. D. *Osnovy teorii teploprovodnosti betona* [Fundamentals of the heat conductivity of concrete] // *Nauchno-tekhnicheskoye soveshchaniye po izucheniyu svoystv betona, opredelyayushchikh yego treshchinostoykost v massivnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh/ Dokl. M.: Gosenergoizdat. 1963. Pp. 38-51. (rus)*
- [22]. Vasilyev P. I. *Eksperimentalnyye issledovaniya deformatsiy betona pri stupenchatom zagruzhении* [Experimental studies of deformations of concrete with a stepped loading] // *Izvestiya VNIIG. 1962. Vol. 72. Pp. 133-141. (rus)*
- [23]. Vasilyev P. I., Gavrilin B. A. *Vliyaniye temperatury na polzuchest stareyushchego betona* [Influence of temperature on the creep of aging concrete] // *Polzuchest i usadka betona. M.: Stroyizdat. 1969. Pp. 9-20. (rus)*
- [24]. Gavrilin B. A. *Vliyaniye temperatury na polzuchest stareyushchego betona* [Influence of temperature on the creep of aging concrete] // *Trudy LPI. 1968. № 292. Pp. 79-83. (rus)*
- [25]. Vasilyev P. I., Gavrilin B. A. *Vliyaniye temperatury na polzuchest betona* [Influence of temperature on the creep of concrete] // *Tretiy koordinatsionnyy sovet po gidrotekhnike // VNIIG. 1975. Vol. 103. Pp. 97-99. (rus)*
- [26]. Vasilyev P. I. *Svyaz mezhdru napryazheniyami i deformatsiyami v betone pri szhatii s uchetom vliyaniya vremeni* [The link between stress and strain in the concrete under compression with the influence of time] // *Izvestiya VNIIG. 1951. Vol. 45. Pp. 78-92. (rus)*
- [27]. Vasilyev P. I. *Nelineynyye deformatsii polzuchesti betona* [Nonlinear creep of concrete] // *Izvestiya VNIIG. 1971. Vol. 95. Pp. 59-69. (rus)*
- [28]. Vasilyev P. I. *Priblizhennyy sposob ucheta deformatsii polzuchesti pri opredelenii temperaturnykh napryazheniy v betonnykh massivnykh plotinakh* [The approximate method of accounting for creep deformation under certain temperature stresses in the concrete of massive dams] // *Izvestiya VNIIG. 1952. Vol. 47. Pp. 120-129. (rus)*
- [29]. Vasilyev P. I. *Nekotoryye voprosy polzuchesti betona* [Some questions of concrete creep]: *Avtoref. dis. doktora tekhn. nauk. – M.: LPI. 1963. 29 p. (rus).*

Семенов К.В., Константинов И.А., Савченко А.В., Кокорева К.А., Нестеров А.А. Эффект температурного воздействия в расчетах термонапряженного состояния дискретно наращиваемых бетонных тел // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №5(32). С. 18-28.

Semenov K.V., Konstantinov I.A., Savchenko A.V., Kokoreva K.A., Nesterov A.A. The effect of temperature influence in calculations of a thermostressed state of discretely increased concrete bodies. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 5(32), Pp. 18-28. (rus)