

DOI: 10.12737/article_5bd95a725020e3.98104960

^{1,*}Нгуен Чонг Чык, ¹Танг Ван Лам, ¹Булгаков Б.И., ¹Александрова О.В., ¹Ларсен О.А.,
¹Булычева А.С., ¹Макарова М.Н.

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

*E-mail: ntchuc.mta198@gmail.com

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИН В МОСТОВОЙ ОПОРЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭСТАКАДЫ В РАННЕМ ВОЗРАСТЕ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА

Аннотация. За последние годы во многих странах мира, в том числе и во Вьетнаме, построено большое количество крупномасштабных сооружений с использованием монолитных бетонных конструкций. Области применения таких конструкций обширны и включают строительство морских сооружений, возведение высотных гидроэнергетических плотин, сооружение автомобильных эстакад на скоростных шоссе и др. Однако, повреждение и растрескивание конструкций, вызванное возникающими температурными напряжениями из-за высокой экзотермии реакции гидратации минеральных вяжущих веществ в раннем возрасте твердения бетона, становятся всё более распространенными и сильно сказываются на их надёжности и долговечности эксплуатации.

В работе для определения состава тяжёлого бетона, предназначенного для строительства массивных мостовых опор автомобильных эстакад, был использован вьетнамский стандарт TCVN 9382–2012. Оценка возможности трещинообразования в бетонной опоре моста в раннем возрасте твердения бетона была выполнена путём анализа температурного поля опоры и возникающего в ней термонапряжённого состояния.

В результате проведённых исследований была доказана возможность получения требуемого тяжёлого бетона из местных сырьевых материалов Вьетнама, с удобоукладываемостью бетонной смеси по осадке стандартного конуса 14 см, обладающего средней прочностью на сжатие 34,7 МПа и прочностью на растяжение при изгибе 3,0 МПа в возрасте 28 суток нормального твердения. С помощью компьютерной программы Midas Civil были определены максимальные температуры в центральной зоне бетонной конструкции на всех трёх этапах строительства опоры моста, которые составили, соответственно, 72,82 °С через 72 часа, 75,02 °С через 312 часов и 74,82 °С через 480 часов от начала затворения смеси сырьевых материалов водой. Кроме того, было установлено, что на первом этапе возведения мостовой опоры из монолитного бетона к 72 часам его твердения величина растягивающего напряжения на наружной боковой и в нижней части исследованной конструкции превышает прочность бетона на растяжение при изгибе в этом возрасте, что может привести к образованию трещин на поверхности бетонного фундамента опоры моста. К 312 и 480 часам твердения бетона величина растягивающего напряжения, возникающего на боковой и в верхней части возводимой мостовой опоры, тоже превышает его прочность на растяжение при изгибе, что также может привести к образованию трещин в указанных местах конструкции.

Ключевые слова: прочность на сжатие, прочность на растяжение при изгибе, трещинообразование, мостовая опора, фундамент опоры, максимальная температура, температурное поле, термонапряжённое состояние.

Введение. В современном строительстве во многих странах мира всё большее применение находят индустриальные методы возведения монолитных железобетонных конструкций с помощью комплексных систем, обеспечивающих ввод в эксплуатацию крупномасштабных и многоэтажных объектов в кратчайшие сроки и без больших капитальных затрат, требуемых на строительство и последующую эксплуатацию заводов сборных изделий и конструкций.

Во Вьетнаме в последнее время широкое распространение получило строительство из монолитного железобетона высотных зданий, большепролётных мостов, обширных подземных и

многих других сооружений, в том числе автомобильных шоссе эстакад.

Однако в массивных конструкциях, в том числе и в мостовых опорах (рис. 1), в процессе твердения бетона его растворная составляющая может дать усадку, при этом в зоне её контакта с более жёсткими зёрнами заполнителя появляются усадочные трещины [1, 2]. Кроме того, из-за больших размеров твердеющих конструкций тепло, выделяющееся в процессе гидратации вяжущего вещества, сложно перераспределить из внутренних слоёв наружу, что приводит к возникновению в их теле термических напряжений [3–6].



Рис. 1. Строительство массивной мостовой опоры во Вьетнаме

Поэтому значительное тепловыделение при гидратации цемента может привести к возникновению чрезмерных растягивающих напряжений из-за появления экстремальных температурных градиентов, результатом которых зачастую становятся трещины как в центре, так и на поверхности конструкций, что снижает их прочность, надёжность и работоспособность, а, следовательно, долговечность зданий и сооружений [7–11].

Поэтому определение температурного поля и термонапряжённого состояния чрезвычайно важно для оценки вероятности возникновения трещин в бетонных конструкциях в раннем возрасте твердения бетона [12–14]. Однако, анализ температурного режима в подобных массивных бетонных конструкциях достаточно сложен ввиду их пространственной формы и влияния многих внутренних и внешних факторов. В связи с этим, при проектировании монолитных железобетонных конструкций во многих странах мира, в том числе и во Вьетнаме, в настоящее время главным образом используют приближенные расчётные методы. В последние годы для решения указанной температурной задачи и с целью наиболее полного учёта влияния различных факторов широко применяют численные методы, в частности метод конечных элементов, в сочетании с различными компьютерными программами, например, Midas Civil, Ansys, Adina, Abaqus и др. [15–17].

В данной работе с помощью вьетнамского стандарта TCVN 9382–2012 был рассчитан расход сырьевых материалов на 1 м^3 бетонной смеси, определены свойства бетонной смеси и

бетона на её основе, предназначенного для строительства мостовых опор автомобильных эстакад, а также с помощью компьютерной программы Midas Civil рассчитаны максимальная температура, температурное поле и термонапряжённое состояние в возводимой бетонной опоре. Далее была произведена оценка возможности появления термических трещин в теле мостовой опоры из монолитного бетона при её строительстве.

Материалы:

- портландцемент (Ц) ЦЕМ I 42,5 Н производства завода «Там Диеп» (Вьетнам) с истинной плотностью 3140 кг/м^3 и максимальным тепловыделением в период гидратации 312 кДж/кг ;
- кварцевый песок (П) реки Ло (Вьетнам) с модулем крупности $M_k = 3,0$, истинной плотностью 2650 кг/м^3 и средней насыпной плотностью в уплотненном состоянии 1650 кг/м^3 ;
- известняковый щебень (Щ) из карьера «Киен Кхе» (Вьетнам) смешанной фракции 5–20 мм с истинной плотностью 2650 кг/м^3 и средней насыпной плотностью в уплотненном состоянии 1535 кг/м^3 ;
- водопроводная питьевая вода в качестве воды затворения для получения бетонной смеси.

Методология:

- для определения составов бетонной смеси использовали стандарт TCVN 9382 – 2012 (СРВ);
- удобоукладываемость бетонной смеси оценивали по осадке конуса (ОК) в см с помощью стандартного конуса с размерами $100 \times 200 \times 300 \text{ мм}$ в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 10181-2014;
- прочность на сжатие и прочность на растяжение при изгибе определяли на бетонных образцах в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012;
- среднюю плотность бетона оценивали по ГОСТ 12730.1-78;
- для определения тепловыделения в период гидратации цемента использовали стандарт ASTM C186-17;
- с помощью компьютерной программы MIDAS CIVIL были рассчитаны максимальная температура, температурное поле и термонапряжённое состояние в бетоне мостовой опоры для оценки возможности появления термических трещин в теле опоры моста из монолитного бетона при её возведении.

Основная часть

1. Объект исследования

Объектом исследования являлась мостовая опора из монолитного бетона. В начале требовалось определить состав бетонной смеси для получения тяжёлого бетона с требуемыми свойствами, предназначенного для строительства

опоры моста, изображённой на рис. 2, на двухъярусной шоссейной развязке в северной части Вьетнама в летний период.

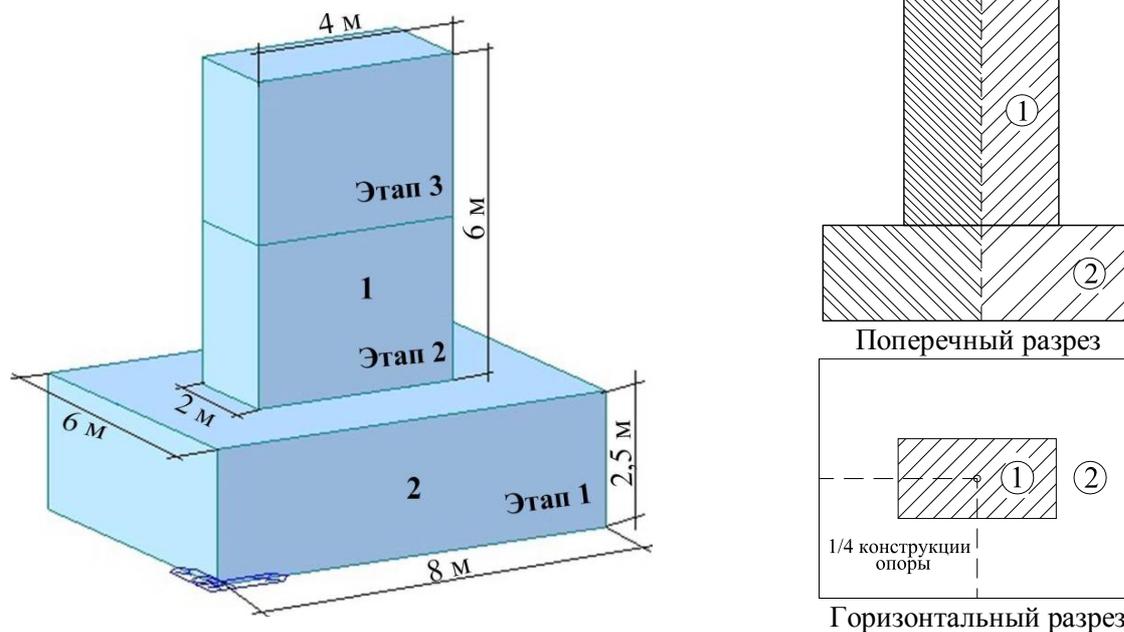


Рис. 2. Эскиз и разрезы опоры моста, возводимой из монолитного бетона
1 – вертикальная промежуточная часть опоры; 2 – фундамент мостовой опоры

2. Расчет состава бетонной смеси для мостовой опоры

Разрабатываемый бетон должен обладать:

- удобоукладываемостью бетонной смеси по осадке стандартного конуса 12–15 см;
- средней прочностью на сжатие в возрасте 28 суток порядка 30 МПа;
- относительным объёмом вовлеченного воздуха не более 1 %.

Для определения состава бетонной смеси, обладающей указанной удобоукладываемостью и позволяющей получить бетон с прочностью на

сжатие не менее 30 МПа в возрасте 28 суток нормального твердения, был использован стандарт TCVN 9382–2012. Экспериментальные результаты испытаний полученной бетонной смеси и бетона на её основе приведены в табл. 1 и 2.

Из приведённых в табл. 1 и 2 экспериментальных результатов следует, что рассчитанный состав бетонной смеси заданной удобоукладываемости позволяет получить бетон требуемой прочности на сжатие не менее 30 МПа в возрасте 28 суток нормального твердения.

Таблица 1

Состав и свойства бетонной смеси

Расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси, кг				Свойства бетонной смеси		
Ц	П	Щ	В	$\frac{B}{C}$ (*)	Средняя расчётная плотность, кг/м ³	Осадка конуса, см
405	457	1202	235	0,58	2299	14

Примечание: (*) отношение $\frac{B}{C}$ по массе.

Таблица 2

Свойства разработанного бетона

№ образца	Плотность бетона, кг/м ³	Средняя прочность на сжатие в разных возрастах твердения, МПа			Прочность на растяжение при изгибе в возрасте 28 сут., МПа
		3 сут.	7 сут.	28 сут.	
1	2283	19,5	24,7	33,4	2,85
2	2278	18,4	26,3	34,1	3,0
3	2275	20,1	29,5	36,5	3,15
Средняя	2279	19,3	26,8	34,7	3,0

3. Расчет температурного режима и термонапряженного состояния в мостовой опоре при твердении бетона в нормальных условиях

В данной работе с помощью компьютерной программы Midas Civil и метода конечных элементов был проведен анализ температурного режима в бетонной опоре моста при её возведении, а также определено термонапряжённое состояние. Состав разработанного бетона представлен в табл. 2.

Согласно результатам исследования [18], когда растягивающее напряжение, возникающее в бетоне, становится выше, чем его прочность на растяжение, то в нём будут появляться трещины.

Для учета влияния температуры воздуха на температурное поле в бетонируемом массиве

были использованы результаты работы [19], согласно которой летние температуры в Северном Вьетнаме меняются в соответствии с уравнением:

$$t_{\text{воз}} = 26,5 + 5 \sin\left(\frac{2\pi\tau}{24}\right), \quad (1)$$

где $t_{\text{воз}}$ – средняя дневная температура воздуха, °С и τ – время, ч.

В табл. 3 представлены свойства тяжёлого бетона разработанного состава, которые были использованы в качестве входных данных для анализа температурного поля и термонапряжённого состояния в бетоне мостовой опоры при её возведении.

Таблица 3

Характеристики разработанного бетона

№	Показатели	Значения показателей
1	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	2,31
2	Удельная теплоёмкость, кДж/(кг·°С)	0,96
3	Средняя плотность, кг/м ³	2279
4	Коэффициент теплопередачи с открытой поверхности бетон – воздух, Вт/(м ² ·°С)	13,88
5	Модуль упругости, Н/м ² [20]	2,56·10 ¹⁰
6	Коэффициент линейного термического расширения, 1/°С [21]	1,0·10 ⁻⁵
7	Коэффициент Пуассона [21]	0,20
8	Максимальное тепловыделение при гидратации цемента, кДж/кг	312
9	Расход цемента, кг/м ³	405
10	Средняя прочность на сжатие, МПа	34,7
11	Средняя прочность на растяжение при изгибе, МПа	3,0
12	Температура бетонной смеси, °С	25
13	Температура грунтового основания опоры моста, °С	20

Возведение исследований мостовой опоры происходило в три этапа (рис. 2):

- этап 1 – строительство фундамента опоры моста;

- этап 2 – строительство нижней половины вертикальной промежуточной части опоры с поверхности её фундамента на высоту +3 м;

- этап 3 – строительство верхней половины вертикальной части опоры с высоты +3 м до высоты +6 м.

Поскольку исследованная опора обладает свойствами симметрии, то для уменьшения количества вычислений в данной работе анализировалась 1/4 часть её конструкции (рис. 2).

Результаты анализа температурного поля и термонапряжённого состояния на всех трёх этапах строительства мостовой опоры из монолитного бетона представлены на рис. 3–5, а сравнение расчетной прочности бетона на растяжение при изгибе с величиной максимального растягивающего напряжения, возникающего в возводимой опоре – в табл. 4.

Из полученных результатов, приведённых на рис. 3, следует, что максимальная температура в центре фундамента опоры после 72 часов твердения бетона составляет $T_{\text{max}} = 72,82$ °С. После этого температура начинает снижаться (рис. 3, а). Кроме того, из рис. 3, б, видно, что максимальное растягивающее напряжение на наружной боковой поверхности и в нижней части фундамента, составляет 3,59 МПа в возрасте 72 часов, что превышает прочность бетона на растяжение при изгибе, равную 1,6 МПа в том же возрасте (табл. 4). Следовательно, на наружной поверхности и в нижней части фундамента мостовой опоры создаются условия для образования трещин.

Из полученных результатов, изображённых на рис. 4, следует, что максимальная температура в центре нижней половины вертикальной промежуточной части опоры после 312 часов твердения бетона составляет $T_{\text{max}} = 75,02$ °С. После этого температура тоже начинает снижаться (рис. 4, а). Кроме того, из рис. 4, б отчётливо видно, что максимальное растягивающее напряжение на

наружной боковой поверхности и в верхней части опоры моста, равное 3,6 МПа в возрасте 312 часов также превышает прочность бетона на растяжение при изгибе 2,3 МПа, достигаемую к

этому времени твердения (табл. 4). Таким образом, в этих местах возводимой опоры тоже появляются условия для возникновения трещин из-за выделения тепла при гидратации цемента.

Таблица 4

Сравнение прочности бетона на растяжение при изгибе с максимальным растягивающим напряжением в возводимой опоре

Показатели	Возраст твердения бетона		
	72 часа	312 часов	480 часов
Максимальное растягивающее напряжение, МПа	3,59	3,6	3,37
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	1,6	2,3	2,8

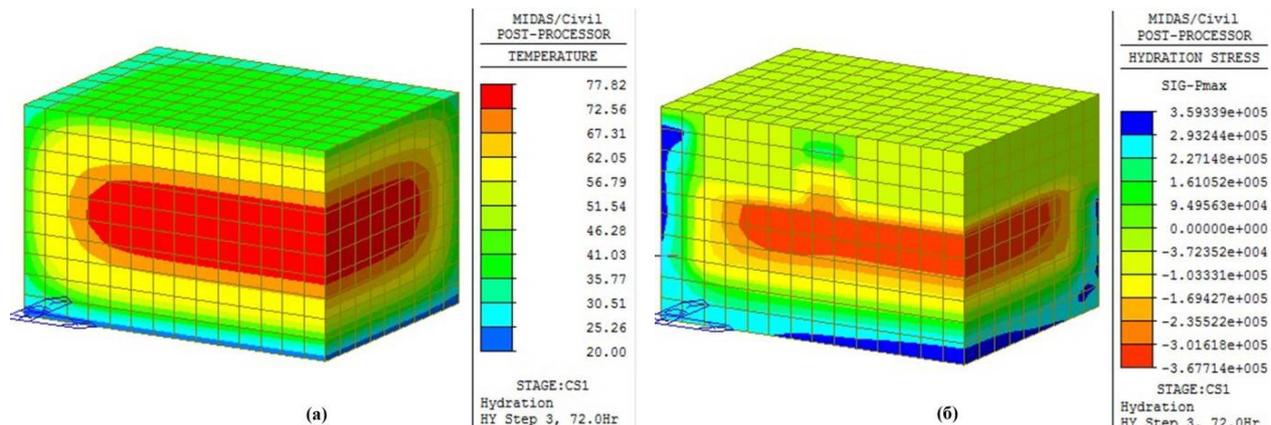


Рис. 3. Температурное поле (а) и термонапряжённое состояние (б) в центре бетонного фундамента мостовой опоры через 72 часов от начала её возведения (этап 1)

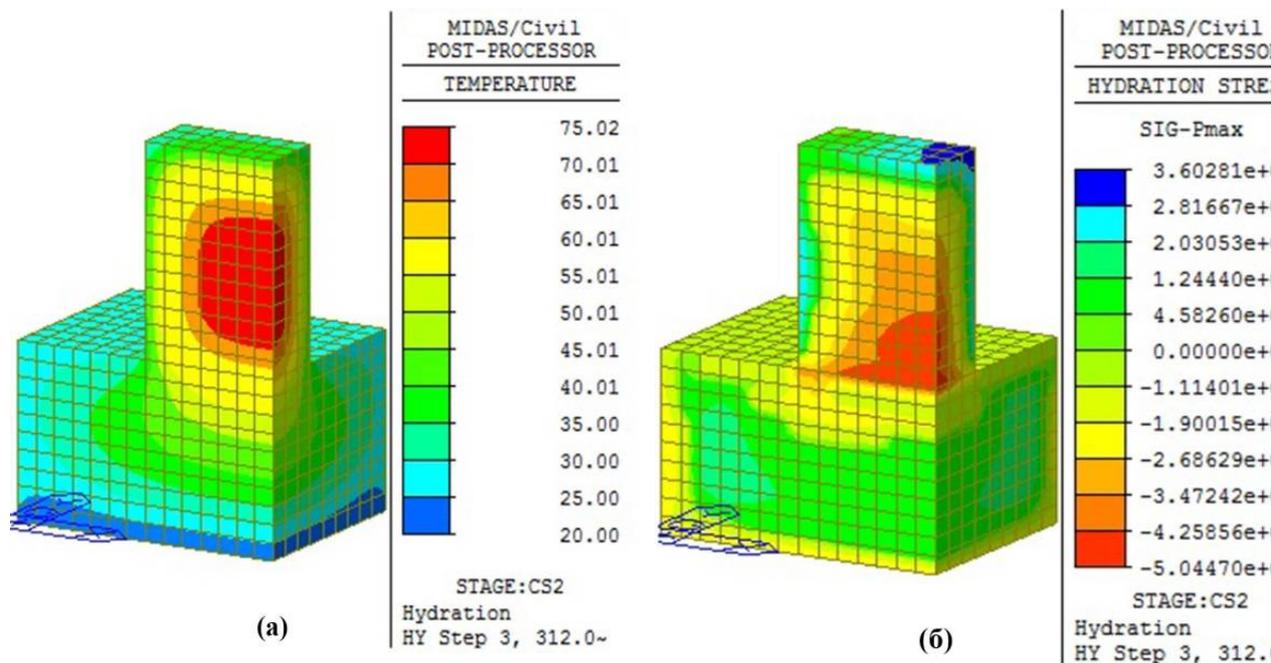


Рис. 4. Температурное поле (а) и термонапряжённое состояние (б) в центре нижней половины вертикальной промежуточной части опоры моста через 312 часов от начала её возведения (этап 2)

Из полученных результатов, показанных на рис. 5, следует, что максимальная температура в центре верхней половины вертикальной промежуточной части опоры после 480 часов твердения бетона составляет $T_{max} = 74,82$ °С. После

этого температура также снижается (рис. 5, а). Кроме того, из рис. 5, б следует, что максимальное растягивающее напряжение на наружной боковой поверхности и вверху вертикальной части

опоры моста, равное 3,37 МПа в возрасте 480 часов превышает прочность бетона на растяжение при изгибе, значение которой к указанному достигает всего 2,8 МПа (табл. 4). То есть, на

наружной поверхности и в верхней части возводимой мостовой опоры на высоте 6 м тоже возникают условия для появления трещин.

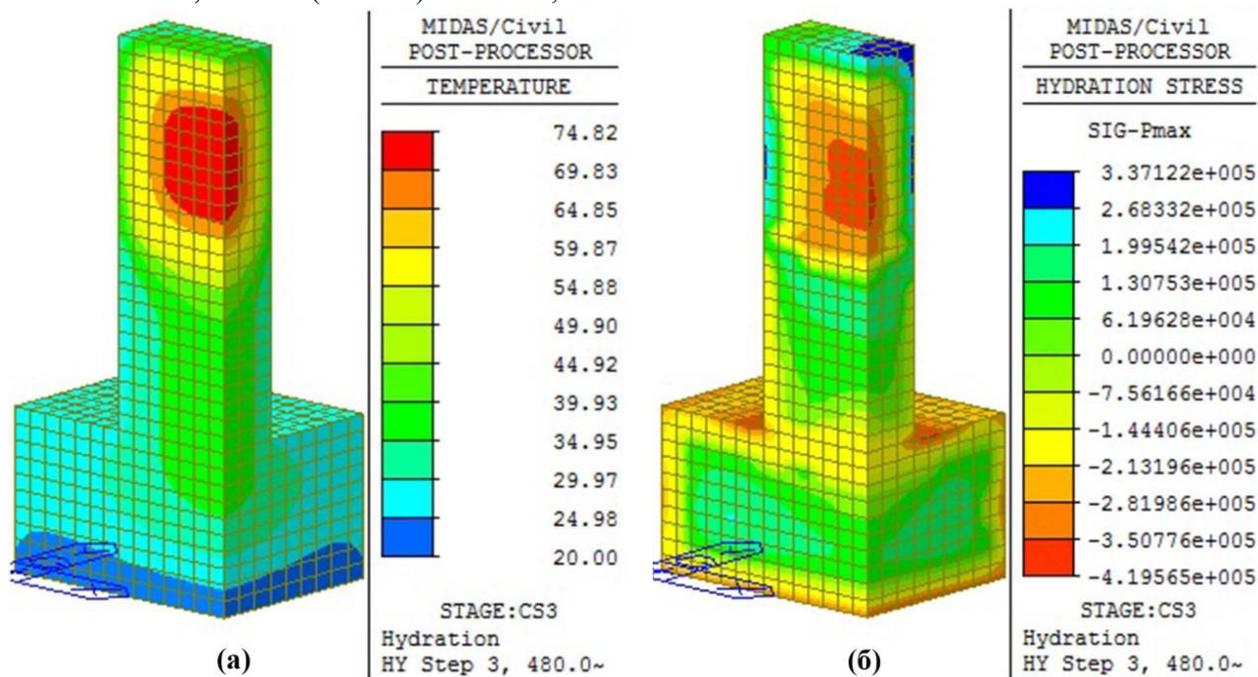


Рис. 5. Температурное поле (а) и термонапряжённое состояние (б) в центре верхней половины вертикальной промежуточной части опоры моста через 480 часов от начала её возведения (этап 3)

Приведённые выше результаты показывают, что для предотвращения появления трещин в монолитной конструкции необходимо обеспечить уход за бетоном во время его твердения. Для этого поверхность фундамента и вертикальной промежуточной части опоры моста необходимо периодически увлажнять в раннем возрасте твердения бетона.

Выводы. На основе полученных результатов проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

1. Была доказана возможность получения тяжёлого бетона из местных для Вьетнама сырьевых материалов с удобоукладываемостью бетонной смеси по осадка стандартного конуса 14 см, обладающего средней прочностью на сжатие 34,7 МПа и прочностью на растяжение при изгибе 3,0 МПа в возрасте 28 суток нормального твердения, пригодного для возведения мостовых опор шоссе эстакад.

2. С помощью компьютерной программы Midas Civil были определены максимальные температуры в центральной зоне бетонной конструкции на всех трёх этапах строительства опоры моста, которые составляли соответственно, 72,82 °С через 72 часа, 75,02 °С через 312 часов и 74,82 °С через 480 часов от начала затворения смеси сырьевых материалов водой.

3. На первом этапе строительства фундамента опоры к 72 часам твердения бетона величина растягивающего напряжения на наружной боковой и в нижней части конструкции превышает прочность бетона на растяжение при изгибе в этом возрасте, что может привести к образованию трещин.

4. На втором и третьем этапах возведения вертикальной промежуточной части мостовой опоры к 312 и 480 часам твердения бетона величина растягивающего напряжения, возникающего на её боковой поверхности и в верхней части, также превышает прочность бетона на растяжение при изгибе в данных возрастах, что тоже может привести к образованию трещин в указанных местах конструкции.

Поэтому, для предотвращения трещинообразования в исследованной мостовой опоре, возводимой из монолитного бетона в условиях жаркого климата Северного Вьетнама, необходимо обеспечить уход за бетоном во время его твердения и особенно в раннем возрасте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lee Y, Kim J-K. Numerical analysis of the early age behaviour of concrete structures with a hydration based micro plane model // Comput. Struct. 2009. Vol. 87. Pp. 1085–101.

2. Vietnam Electricity Corporation. Report of cracks occurring at RCC dam in Son La hydropower plant, Hanoi, 2009, 86 p.
3. Shengxing Wu, Donghui Huang, Feng-Bao Lin, Haitao Zhao, Panxiu Wang, Estimation of cracking risk of concrete at early age based on thermal stress analysis // *Therm. Anal. Calorim.* 2011. Vol. 105. Pp. 171–186. DOI 10.1007/s10973-011-1512-y.
4. Cui W., Chen W., Wang N, Thermo-hydro-mechanical coupling analysis of early-age concrete with behavioural changes considered and its application // *China Civil Engineering Journal.* 2015. Vol. 48(2). Pp. 44–53.
5. Holt E, Leivo M. Cracking risks associated with early age shrinkage // *Cem. Concr. Compos.* 2004. Vol. 26 (5). Pp. 521–530.
6. Yuan Y, Wan ZL. Prediction of cracking within early-age concrete due to thermal, drying and creep behaviour // *Cem. Concr. Res.* 2002. Vol. 32 (7). Pp. 1053–1059.
7. Wu Y, Luna R. Numerical implementation of temperature and creep in mass concrete // *Finite Elem. Anal. Des.* 2001; 37(2): 97–106.
8. Amin MN, Kim J-S, Lee Y, Kim J-K. Simulation of the thermal stress in mass concrete using a thermal stress measuring device. *Cem. Concr. Res.* 2009. Vol. 39(3). Pp. 154–64.
9. Adrian M. Lawrence, A finite element model for the prediction of thermal stresses in mass concrete. University of Florida, 2009, 177 p.
10. Van Breugel K, Koenders Eab. Effect on solar radiation on the risk of cracking in young concrete // Delft University of Technology. 2001, Report, BE96-3843.
11. De Schutter G. Finite element simulation of thermal cracking in massive hardening concrete elements using degree of hydration based material laws // *Comput. Struct.* 2002. Vol. 80. Pp. 2035–42.
12. Kjellman O, Olofsson J. 3D structural analysis of crack risk in hardening concrete structures. Verification of a three-step engineering method; 1999. Contract No.: TG 4/N2.
13. Zhu Bofang, Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete. Published by Elsevier Inc., 2014, 487 p.
14. Bui Duc Vinh, Nguyen Van Chanh, Chu Quoc Thang. Thermal – stress analysis of early- age concrete structures for cracking control of reinforce concrete structures. Workshop on "Incidents and damages of construction works". 2010, pp. 87–94.
15. Ho Ngoc Khoa, Vu Chi Cong. Analysis of temperature and heat stress in mass concrete structures by finite element method // *Journal of Building Science and Technology.* 2012. Vol. 14 (12). Pp. 17–27.
16. Копылов В.Д., Нгуен Куи Дык, Хо Нгок Кхоа. Физические процессы, протекающие в твердеющем в жарком климате бетоне // *Промышленное и гражданское строительство.* 2012. №5. С. 45–52.
17. MIDAS Information Technology, Heat of Hydration- Analysis Manual, Version – 2011, 256 p.
18. Francisco Diaz, Rikard Johansson. Early-Age Thermal Cracking in Concrete: A FE-Modelling approach. Master's Thesis in the Master's Programme in Structural Engineering and Building Technology. Göteborg, Sweden, 2016, 161 p.
19. Report on the analysis of thermal stresses of roller compacted concrete dams in Vietnam. Ministry of construction of Vietnam, 04 - 2014, 250 p.
20. Hichem Mazighi, Mustapha Kamel Mihoubi, Khaled Ghaedi, Zainah Ibrahim. Study of uplift pressure effect in roller compacted concrete gravity dam. 37th Annual USSD Conference Anaheim, California, April 3-7, 2017. 20 p.
21. Abdallah I. Husein Malkawi; Saad A. Muasher; and Tony J. Qiu, Thermal - Structural Modeling and Temperature Control of Roller Compacted Concrete Gravity Dam. *Journal of Performance of Constructed facilities ASCE*, November, 2003, DOI:10.1061/~ASCE!0887-3828~2003!17:4 ~177.

Информация об авторах

Нгуен Чонг Чык, аспирант кафедры гидравлики и гидротехнического строительства. E-mail: ntchuc.mta198@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Танг Ван Лам, аспирант кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: lamvantang@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Булгаков Борис Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: fakultetst@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Александрова Ольга Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: aleks_olvl@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Ларсен Оксана Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: larsen.oksana@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Булычева Анастасия Сергеевна, студент. E-mail: abulycheva1995@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Макарова Мария Николаевна, студент. E-mail: m_mariya1996@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в мае 2018 г.

© Нгуен Чонг Чык, Танг Ван Лам, Булгаков Б. И., Александрова О.В., Ларсен О.А., Булычева А.С., Макарова М.Н., 2018

^{1,*}*Nguyen Trong Chuc, ¹Tang Van Lam, ¹Bulgakov B.I., ¹Alexandrova O.V., ¹Larsen O.A., ¹Bulycheva A.S., ¹Makarova M.N.*

¹*National Research Moscow State University of Civil Engineering
Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26*

**E-mail: ntchuc.mta198@gmail.com*

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF CRACKS IN THE BRIDGE SUPPORT OF THE ROAD OVERPASS IN THE EARLY AGE CONCRETE

Abstract. *In recent years, plenty of large-scale constructions with the use of monolithic concrete structures are built in many countries, including Vietnam. The use of such structures is extensive. It includes construction of marine facilities, erecting of hydro-power dams, road overpass on the highway and etc. However, the damage of structures caused by temperature tension is widespread and influences the reliability of exploitation. The damage occurs due to the high exotherm reaction of mineral binders hydration at early age of concrete hardening.*

In the research, the Vietnamese standard TCVN 9382 - 2012 is used to determine the composition of heavy concrete, designed to construct the massive bridge support of road overpass. The possibility of crack formation in the concrete support of the bridge at an early age of concrete hardening is evaluated by analyzing the temperature field of the support and the resulting thermally stressed condition.

The conducted study proves the possibility of obtaining heavy concrete from local raw materials in Vietnam, with the workability of concrete mix at the sediment cone of a standard 14 cm, with an average compressive strength to 34.7 MPa and flexural strength 3.0 MPa at the age of 28 days of normal hardening. The computer program Midas Civil helps to determine the maximum temperature in the Central zone of the concrete structure during all three stages of bridge support construction. It is amounted to 72,82 °C in 72 hours, 75,02 °C in 312 hours and 74,82 °C in 480 hours from the commencement of mixing raw materials with water. In addition, it is found that on the first stage of bridge support construction made of monolithic concrete, after 72 hours of hardening, the tensile stress magnitude on the outer side and the lower part of the investigated areas of the structure exceeds the strength of the concrete under bending tension, which can lead to the formation of cracks on the surface of concrete base of the bridge support. After 312 and 480 hours of concrete hardening, the tensile stress occurs at the side and at the top of the erected bridge support ; it exceeds flexural strength , which can lead to the formation of cracks in the designated areas of the structure.

Keywords: *compressive strength, flexural strength, cracking, bridge support, foundation supports, maximum temperature, temperature field, thermal stress condition.*

REFERENCES

1. Lee Y, Kim J-K. Numerical analysis of the early age behaviour of concrete structures with a hydration based micro plane model. *Comput. Struct*, 2009, vol. 87, pp. 1085–101.
2. Vietnam Electricity Corporation. Report of cracks occurring at RCC dam in Son La hydropower plant, Hanoi, 2009, 86 p.
3. Shengxing Wu, Donghui Huang, Feng-Bao Lin, Haitao Zhao, Panxiu Wang, Estimation of cracking risk of concrete at early age based on thermal stress analysis. *J. Therm. Anal. Calorim*, 2011, vol. 105, pp. 171–186. DOI 10.1007/s10973-011-1512-y.
4. Cui W., Chen W., Wang N, Thermo-hydro-mechanical coupling analysis of early-age concrete

with behavioural changes considered and its application. *China Civil Engineering Journal*, 2015, vol. 48(2), pp. 44-53.

5. Holt E, Leivo M. Cracking risks associated with early age shrinkage. *Cem. Concr. Compos.* 2004, vol. 26 (5), pp. 521–530.

6. Yuan Y, Wan ZL. Prediction of cracking within early-age concrete due to thermal, drying and creep behavior. *Cem. Concr. Res*, 2002, vol. 32 (7), pp. 1053–1059.

7. Wu Y, Luna R. Numerical implementation of temperature and creep in mass concrete. *Finite Elem. Anal. Des.*, 2001, vol. 37(2), pp. 97–106.

8. Amin MN, Kim J-S, Lee Y, Kim J-K. Simulation of the thermal stress in mass concrete using a thermal stress measuring device. *Cem. Concr. Res*, 2009, vol. 39(3), pp. 154–64.

9. Adrian M. Lawrence, A finite element model for the prediction of thermal stresses in mass concrete. University of Florida, 2009, 177 p.

10. Van Breugel K, Koenders Eab. Effect on solar radiation on the risk of cracking in young concrete, Delft University of Technology, 2001. Report, BE96-3843.

11. De Schutter G. Finite element simulation of thermal cracking in massive hardening concrete elements using degree of hydration based material laws. *Comput. Struct*, 2002, vol. 80, pp. 2035–42.

12. Kjellman O, Olofsson J. 3D structural analysis of crack risk in hardening concrete structures. Verification of a three-step engineering method; 1999. Contract No.: TG 4/N2.

13. Zhu Bofang, Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete. 2014. Published by Elsevier Inc., 487 p.

14. Bui Duc Vinh, Nguyen Van Chanh, Chu Quoc Thang. Thermal – stress analysis of early- age concrete structures for cracking control of reinforce concrete structures. Workshop on "Incidents and damages of construction works". 2010, pp. 87–94.

15. Ho Ngoc Khoa, Vu Chi Cong. Analysis of temperature and heat stress in mass concrete structures by finite element method. *Journal of Building Science and Technology*, 2012, vol. 14 (12), pp. 17–27.

16. Kopylov V.D., Nguyen Qui Duc, Ho Ngoc Khoa. Physical processes occurring in hardening concrete in hot climates. *Industrial and Civil Construction*, 2012, no. 5, pp. 45–52.

17. MIDAS Information Technology, Heat of Hydration- Analysis Manual, Version – 2011, 256 p.

18. Francisco Diaz, Rikard Johansson. Early-Age Thermal Cracking in Concrete: A FE-Modelling approach. Master's Thesis in the Master's Programme in Structural Engineering and Building Technology. Göteborg, Sweden, 2016, 161 p.

19. Report on the analysis of thermal stresses of roller compacted concrete dams in Vietnam. Ministry of construction of Vietnam, 04 - 2014, 250 p.

20. Hichem Mazighi, Mustapha Kamel Mihoubi, Khaled Ghaedi, Zainah Ibrahim. Study of uplift pressure effect in roller compacted concrete gravity dam. 37th Annual USSD Conference Anaheim, California, April 3-7, 2017, 20 p.

21. Abdallah I. Husein Malkawi; Saad A. Mutasher; and Tony J. Qiu. Thermal - Structural Modeling and Temperature Control of Roller Compacted Concrete Gravity Dam. *Journal of Performance of Constructed facilities ASCE*, November, 2003, DOI: 10.1061/(ASCE)0887-3828(2003)17:4(177).

Information about the author

Nguyen Trong Chuc, Postgraduate student. E-mail: ntchuc.mta198@gmail.com. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26.

Tang Van Lam, Postgraduate student. E-mail: lamvantang@gmail.com. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26.

Bulgakov, Boris I. PhD, Associate Professor. E-mail: fakultetst@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26.

Aleksandrova, Olga V. PhD, Associate Professor. E-mail: aleks_olvl@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26.

Larsen, Oksana A. PhD, Associate Professor. E-mail: larsen.oksana@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26.

Bulycheva, Anastasia S. Bachelor student. E-mail: abulycheva1995@gmail.com. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26.

Makarova, Maria N. Bachelor student. E-mail: m_mariya1996@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26.

Received in May 2018

Для цитирования:

Нгуен Чонг Чык, Танг Ван Лам, Булгаков Б.И., Александрова О.В., Ларсен О.А., Булычева А.С., Макарова М.Н. Оценка возможности появления трещин в мостовой опоре автомобильной эстакады в раннем возрасте твердения бетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 33–42. DOI: 10.12737/article_5bd95a725020e3.98104960

For citation:

Nguyen Trong Chuc, Tang Van Lam, Bulgakov B.I., Alexandrova O.V., Larsen O.A., Bulycheva A.S., Makarova M.N. Assessment of the possibility of cracks in the bridge support of the road overpass in the early age concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 33–32. DOI: 10.12737/article_5bd95a725020e3.98104960