

Список литературы

1. Купчикова Н.В. Экспертиза геоподосновы, оснований и фундаментов мелкого заложения: региональные особенности учёта и оценки деформаций при эксплуатации. Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2019. № 4 (30). С. 85-89.
2. Купчикова Н.В., Гурова Е.В. Экспертиза геоподосновы и свайных фундаментов объектов незавершённого строительства. Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2020. № 4 (34). С. 73-78.
3. Купчикова Н.В. Экспертиза геоподосновы, оснований и фундаментов глубокого заложения: региональные особенности учёта и оценки деформаций при эксплуатации. Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2020. № 3 (33). С. 63-68.
4. Шулятьев О.А., Исаев О.Н., Наятов Д.В., Шарафутдинов Р.Ф. Опыт строительства многофункционального жилого комплекса. Жилищное строительство. 2015. № 9. С. 21-29.
5. Шулятьев О. А. «Основные принципы расчета и конструирования плитных и свайных фундаментов высотных зданий», докторская диссертация по специальности ВАК РФ 05.23.02, Москва, 2019г.
6. Ильичев В.А., Никифорова Н.С., Коннов А.В., Иртуганова В.Р. Мониторинг строительства многофункционального жилого комплекса с подземной автостоянкой. Жилищное строительство. 2016. № 6. С. 29-32.
7. P'ichev V.A., Nikiforova N.S., Dmitriev V.V., Devyatov S.V., Shvets T.D., Kostyukov E.A. The current state of foundations and bed soil of the fortresswalls and towers of the Moscow Kremlin. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2016. № 3. С. 21-27.
8. Травуш В.И., Федоров В.С., Маковецкий О.А. Моделирование поведения сплошного вертикального структурного геотехнического массива - разделительного экрана. Строительство и реконструкция. 2021. № 1 (93). С. 65-73.
9. Колчунов В.И., Федоров В.С. Понятная иерархия моделей в теории сопротивления строительных конструкций. Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 8. С. 16-23.
10. Travush V.I., Fedorov V.S., Makovetskiy O.A. Theoretical substantiation of the mechanism patterns of the manmade base "structural geotechnical solid". International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2020. Т. 16. № 4. С. 103-110.

© Н. В. Купчикова, А. С. Таркин

Ссылка для цитирования:

Купчикова Н. В., Таркин А. С. Экспертиза геоподосновы, оснований и фундаментов: современные приборы и оборудование при проведении экспериментальных исследований и геотехнического мониторинга // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 4 (38). С. 47-55.

УДК 614.841.332

DOI 10.52684/2312-3702-2021-38-4-55-60

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СЖАТОЕ БЕТОННОЕ КОЛЬЦО И РАСТЯНУТУЮ АРМАТУРУ

В. Е. Левитский, П. А. Матвиенко, В. Е. Матвиенко

«Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ), г. Москва, Россия

Проведен анализ работы тонких плит в условиях характерного для пожара неравномерного высокотемпературного нагрева. Показано, что повышенное искажение формы прогиба, возникающее из-за высоких уровней тепловых вариаций, имеет существенные последствия для развития сжатого бетонного кольца и растянутой арматурной сетки, реализующие пространственную работу плиты при нагреве, которые не будут учитываться предположением о равномерности температуры среды, используемым обычно при проектировании. Из полученных результатов видно, что линейное изменение температуры среды вызывает концентрацию деформаций дробления в углу, наиболее близком к максимальной температуре; деформации уменьшаются в менее нагретых температурных областях.

Ключевые слова: тонкие железобетонные плиты, показатель пространственной вариации температуры, эквивалентная пластическая деформация, мембранный эффект при растяжении, сжатое бетонное кольцо.

INFLUENCE OF CHANGE IN SPATIAL TEMPERATURE VARIATION ON COMPRESSED CONCRETE RING AND EXTENDED REINFORCEMENT

V. E. Levitsky, P. A. Matvienko, V. E. Matvienko

"Russian University of Transport" RUT (MIIT), Moscow, Russia

Conduct by the analysis of the work of slender concrete slab in conditions of non-uniform fire heating. It is shown that the increased distortion of the deflection shape, which occurs due to high levels of thermal variations, has significant consequences for the development of a compressive concrete ring and a stretched reinforcement mesh, which implements the spatial work of the slab during heating, which will not be taken into account by the assumption of uniformity of the medium temperature, which is usually used in the design. It can be seen from the results obtained that a linear change in the temperature of the medium causes the concentration of crushing deformations in the corner closest to the maximum temperature; deformations decrease in less heated temperature regions.

Keywords: slender reinforced concrete slab, magnitude of spatial temperature variation, equivalent plastic deformation, tensile membrane action, compressed concrete ring.

В настоящее время проектирование строительных конструкций с учётом природных и техногенных воздействий требует разработку новых методов исследования работы, в особенности железобетонных конструкций [1–9]. Тонкие железобетонные плиты, функционирующие в двух направлениях, при развитии больших прогибов формируют механизм пространственной работы, заключающийся в образовании сжатого бетонного кольца по контуру плиты и растянутой сетки

стальной арматуры в пролёте [3, 8]. В результате увеличивается плечо внутренней пары сил, что приводит к разгрузке пролетной арматуры ортогонального направления. Разрушение сжимающего кольца происходит в результате дробления бетона в области углов плиты, где эффект двухосного изгиба наибольший [9].

Неравномерный нагрев плит перекрытий, работающих в двух направлениях, приводит к искажению профиля прогиба. Из-за локального

увеличения температурной кривизны наибольший прогиб смещается в сторону максимальных температур, что влияет на развитие эффекта пространственной работы. Чувствительность к неравномерному нагреву по площади наиболее явно выражена в плитах небольшой толщины. Однако до настоящего времени работа тонких плит в указанных условиях не рассматривалась.

Данное исследование проводится с использованием конечно-элементной модели плиты толщиной 100 мм, размерами в плане 6 × 6 м, работающей в двух направлениях в условиях свободного, шарнирно-неподвижного и жёсткого опирания по контуру. Отношение толщины плиты к пролету составляет 1/60, что позволяет считать плиту гибким элементом. Плита армирована верхней и нижней сетками класса А500 с шагом 200 мм диаметром 6 и 12 мм соответственно (рис. 1).

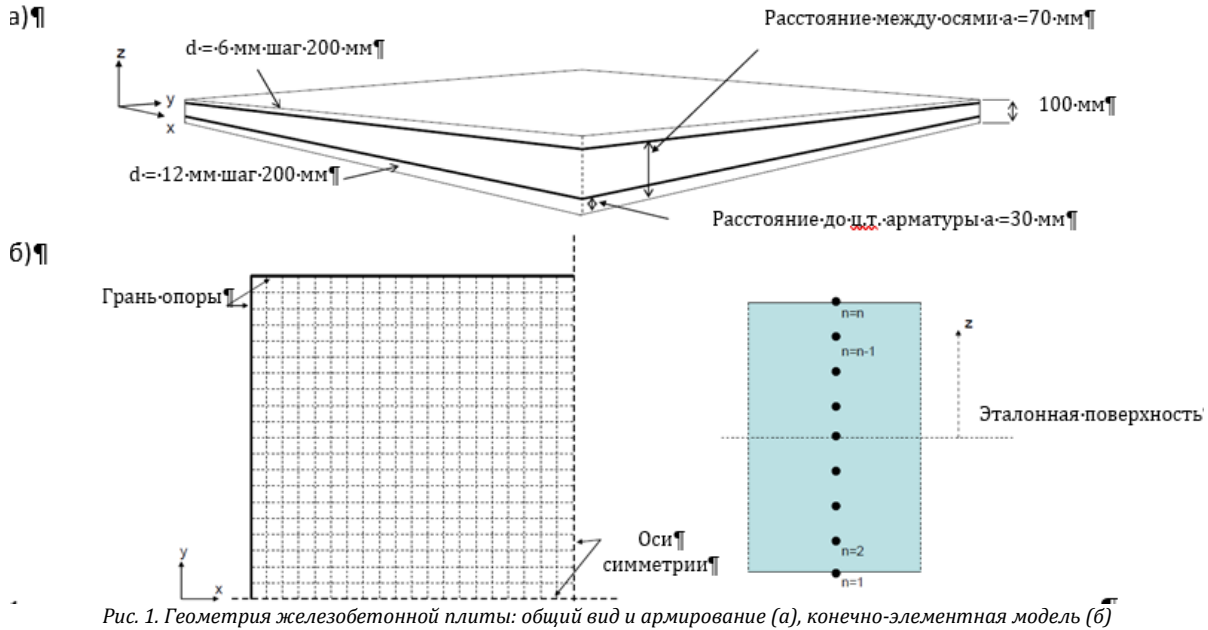


Рис. 1. Геометрия железобетонной плиты: общий вид и армирование (а), конечно-элементная модель (б)

Бетон применяется на кремнеземистом заполнителе влажностью 3 %, нормативной прочностью на сжатие 30 МПа и на растяжение 3,39 МПа. Приложенная нагрузка составляет 5 кН/м². Благодаря условиям симметрии моделируется только половина плиты.

Для обозначения степени деформации бетона используется эквивалентная пластическая деформация (РЕЕQ), которая выражается как доля деформации при максимальном напряжении. Величина РЕЕQ, превышающая единицу, указывает на начало дробления. При больших прогибах и высоких температурах в арматурной стали про-

исходит быстрое развитие искажений. Растрескивание бетона при растяжении не позволяет точно описать деформирование арматуры, однако по её изменениям также можно судить об относительной эффективности поведения армирования в неоднородных термических условиях.

Распределение температуры по координате x плиты задано в виде линейного закона (рис. 2):

$$T_{g,max,min} = \left(1 \pm \frac{V}{100}\right) T_{g,ave} \quad (1)$$

где V – показатель пространственной вариации распределения температуры; рассматриваются значения 0 %, 20 %, 40 % и 80 %.

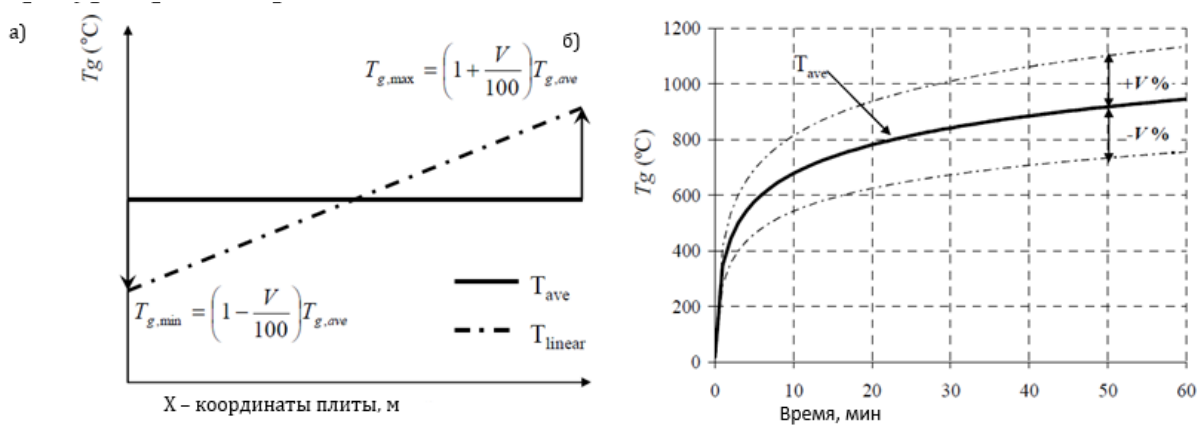


Рис. 2. Линейное изменение температуры среды по длине плиты (а), изменение температуры среды во времени нагрева (б)

Результаты расчета показали, что при увеличении вариации V профиль прогиба становится несимметричным (рис. 3). Все это обусловлено сочетанием локализованного увеличения температурной кривизны и деградации свойств материала при нагреве. Несимметричный профиль

прогиба увеличивает локальное втягивание грани к более нагретой торцевой кромке плиты (рис. 4), что оказывает существенное влияние на поведение сжатого бетонного кольца и растянутой пролетной арматуры.

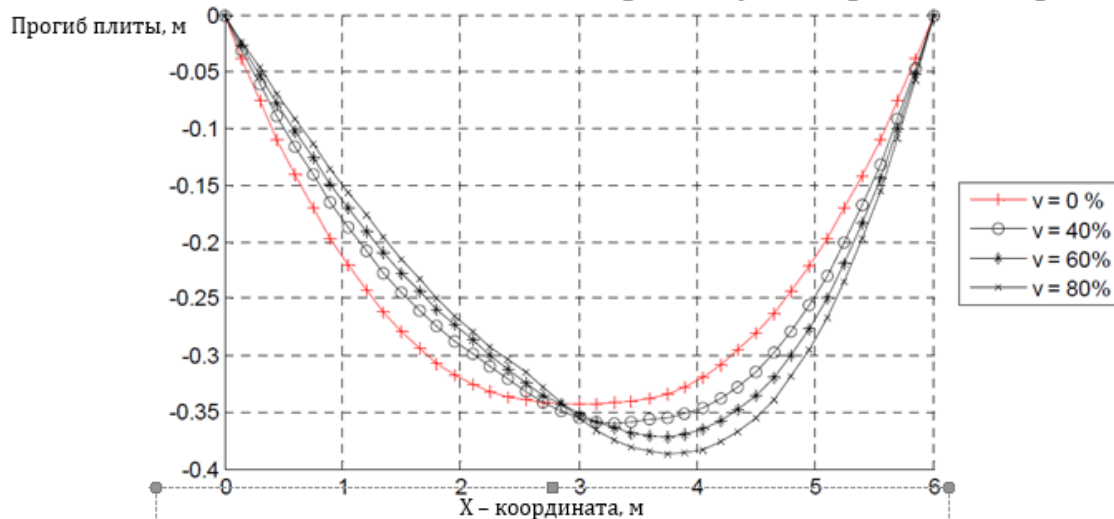


Рис. 3. Профиль вертикального прогиба в середине пролёта для свободно опертой по контуру плиты после 60 мин нагрева в условиях линейного распределения температуры по длине

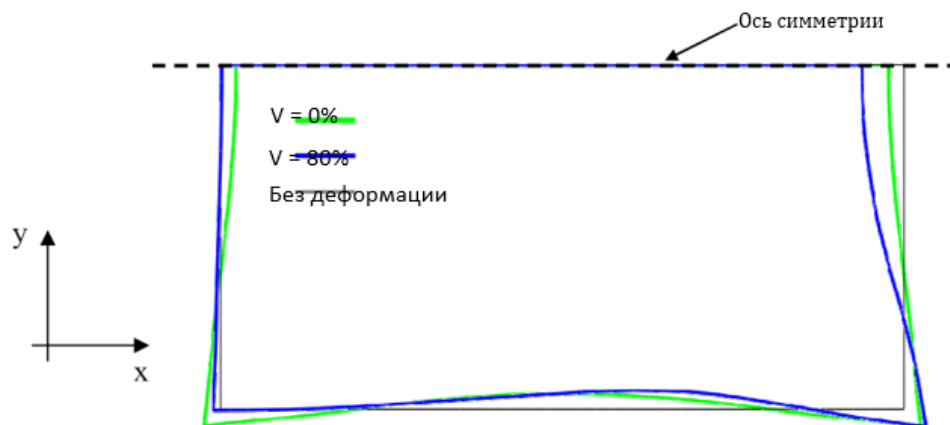


Рис. 4. Горизонтальное смещение граней плиты, вызванное равномерным ($V = 0\%$) и неравномерным ($V = 80\%$) распределением температуры по длине (масштабный коэффициент деформации 10)

Влияние изменения пространственной вариации температуры на сжатое бетонное кольцо. Форма сжатого бетонного кольца видна при построении графика главных напряжений по толщине плиты (рис. 5). Кольцо сжимающих напряжений возникает из-за двухосного изгиба и любое искажение формы прогиба оказывает влияние на развитие сжатого кольца.

Эффект пространственного изменения температуры виден по трансформации формы сжимающего кольца. Максимальные температуры действуют на правую часть плиты (рис. 3); повышение тепловой кривизны в этой области ещё больше увеличивает концентрацию напряжений

в правом нижнем углу, создавая несимметричное кольцо и увеличивая деформации сжатия.

На рис. 6 сравнивается распределение деформаций сжатия, представленных в виде доли деформации при максимальном напряжении, что отражает относительную степень разрушения бетона. Разрушение сжатого кольца начинается в углах плиты, где сжатие, возникающее в результате двухосного изгиба, является наибольшим.

Из этих контурных графиков видно, что линейное изменение температуры среды вызывает концентрацию деформаций дробления в углу, наиболее близком к максимальной температуре; деформации уменьшаются в менее нагретых температурных областях.

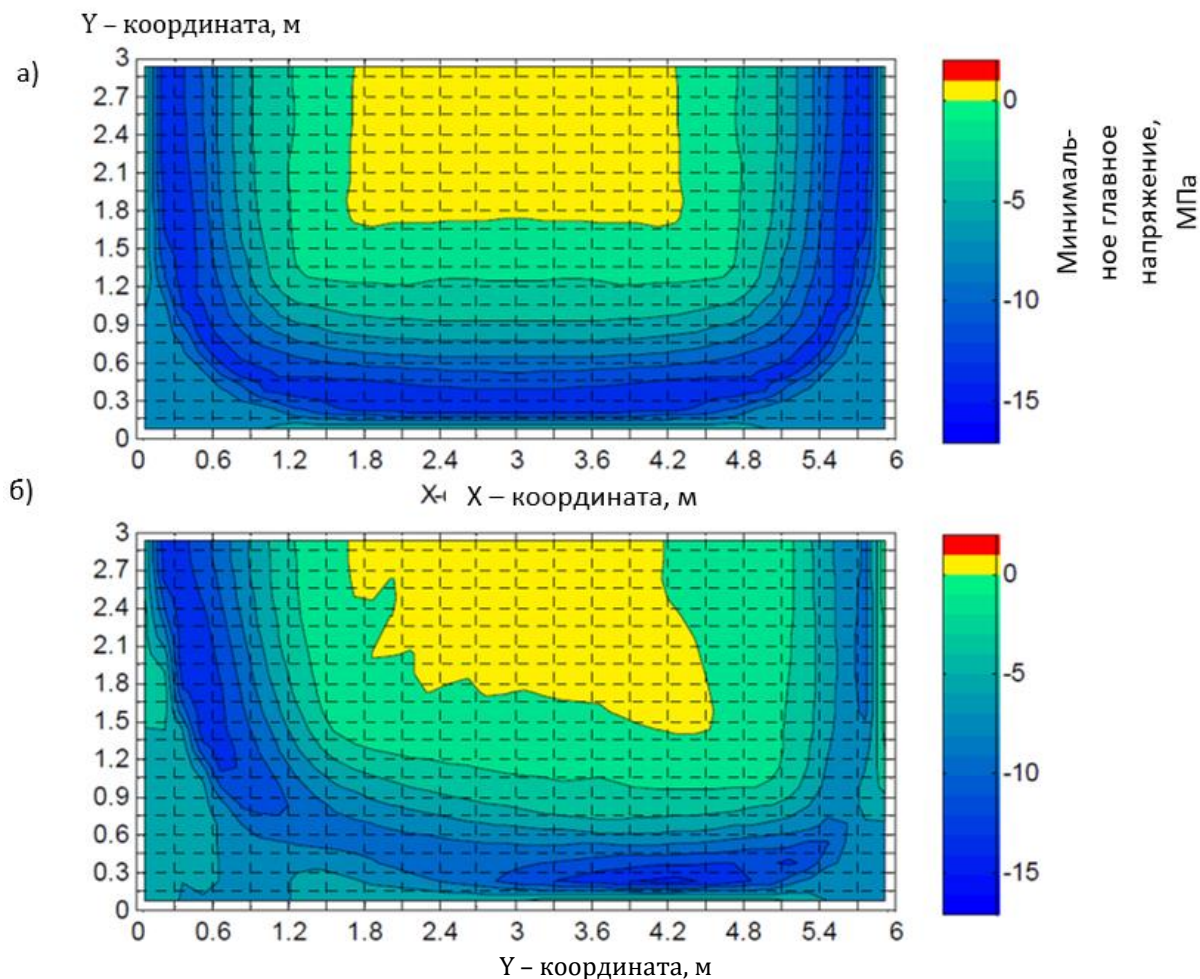


Рис. 5. Влияние линейного изменения пространственной вариации на сжимающее кольцо: минимальные главные напряжения в плите после 60-минутной выдержки при $V = 0\%$ (а), $V = 80\%$ (б)

Влияние изменения пространственной вариации температуры на растянутую арматуру

Наибольшие деформации арматуры при пространственной работе плиты возникают в середине пролёта, где развиваются наибольшие прогибы, а также на опорных гранях. Большие деформации арматуры на опорах вызваны действием растягивающих сил, необходимых для предотвращения вышеуказанного эффекта втягивания плиты, и возникновением опорного момента вследствие ограничения вращения. На рис. 7 а, б представлены контурные графики механических деформаций верхней и нижней арматуры при равномерном воздействии температуры ($V = 0\%$) и шарнирно-неподвижных граничных условиях. Максимальные деформации

проявляются в середине пролета ($x = 3$ м) в верхней арматуре и на опорах плиты ($x = 0$, $x = 6$ м) в нижней арматуре. При неравномерном воздействии температуры ($V = 80\%$) локализация деформаций на краю плиты становится выраженной более существенно, что видно из рис. 7 в, г.

При увеличении вариации теплового воздействия V происходит увеличение механической деформации арматуры в более нагретой области плиты и, соответственно, уменьшение в менее нагретой. Влияние увеличения вариации теплового изменения на поведение арматуры исследуется сопоставлением максимальной механической деформации в трех условных зонах – средней, а также более и менее нагретых шириной 1,35 м.

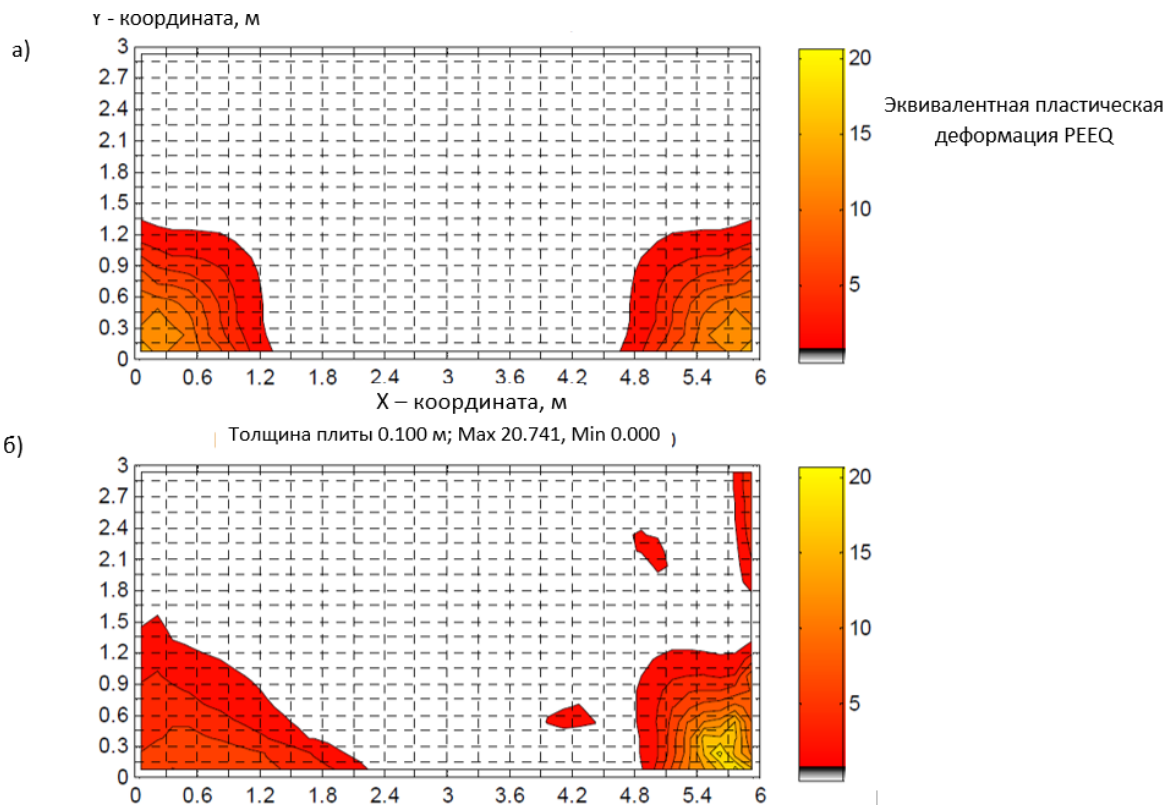


Рис. 6. Влияние линейного изменения пространственной вариации на сжимающее кольцо: эквивалентная пластическая деформация сжатия бетона в плите после 60 минут нагрева при $V = 0\%$ (а), $V = 80\%$ (б)

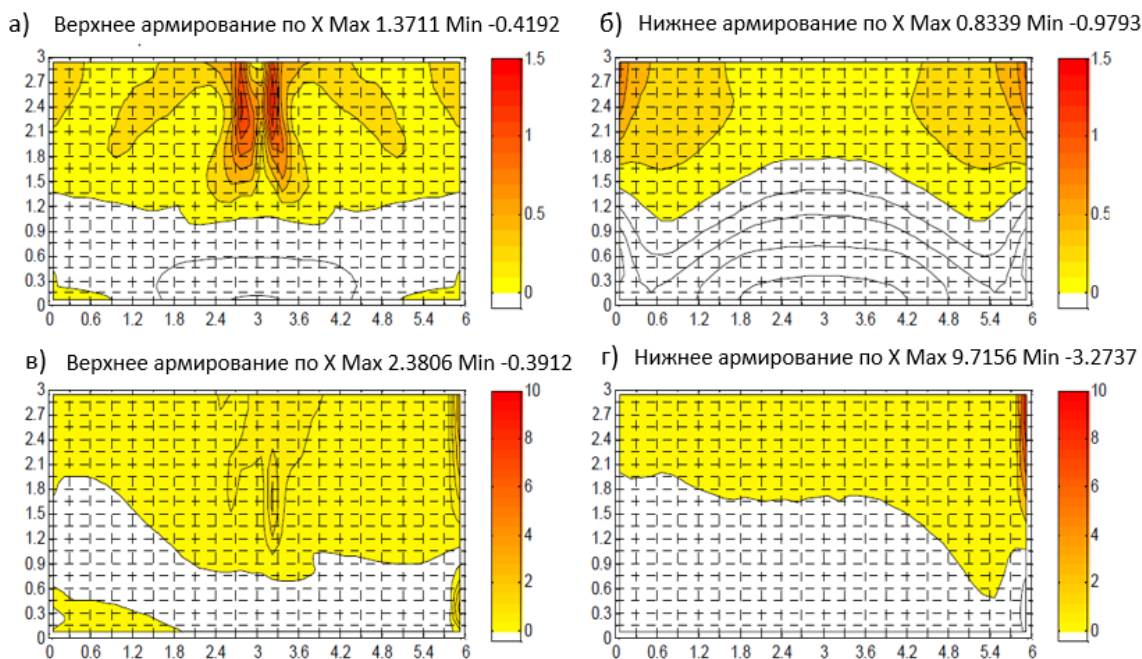


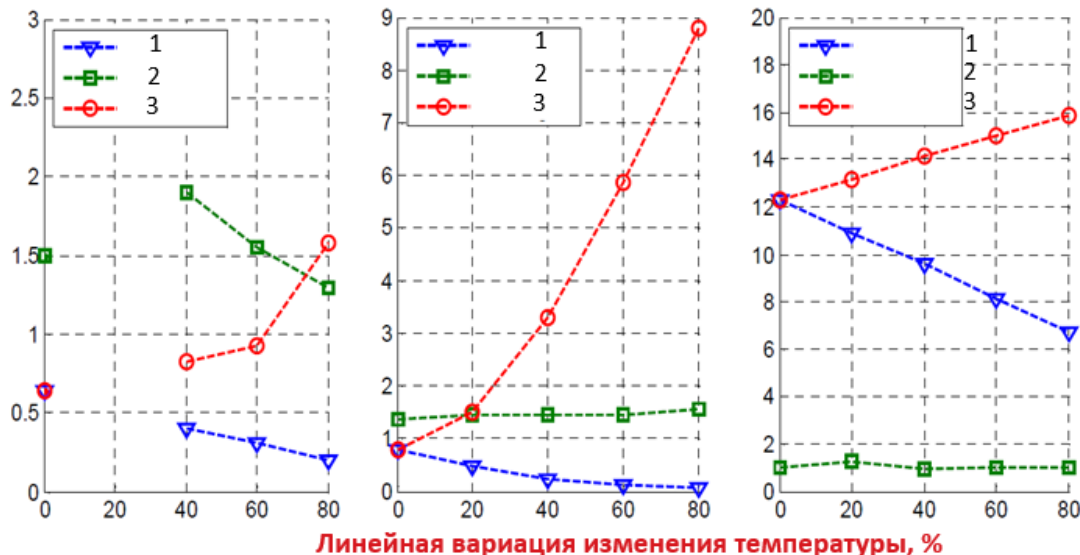
Рис. 7. Влияние линейного изменения температуры среды на распределение механических деформаций арматуры после 60 минут нагрева при $V = 0\%$ (а,б), $V = 80\%$ (в,г)

Максимальные деформации арматуры плит в условиях свободного, шарнирно-неподвижного и жёсткого опирания по контуру представлены на рис. 8. Максимальные прогибы плиты увеличиваются при увеличении вариации распределения температуры, таким образом, происходит

начальное увеличение максимальной механической деформации в середине пролёта. При увеличении тепловых вариаций они начинают уменьшаться, поскольку доля тепловых деформаций увеличивается при более высоких температурах, снижая механические деформации. Увеличение

деформаций арматуры в более нагретой области плиты и уменьшение в менее нагретой очевидно как для плит с шарнирно-неподвижным опиранием, так и для жёстко закреплённых по контуру плит на рисунке 8 б, в. При увеличивающейся ва-

риации изменения температуры величина деформации арматуры в более нагретой области плиты становится чрезвычайно большой. Относительное сравнение величин деформаций показывает, что вероятность разрыва арматуры в этом случае существенно возрастает.



а – свободно опертая б – шарнирно-неподвижно опертая в – жёстко закреплённая

Рис. 7. Влияние вариации линейного распределения температуры на максимальные деформации арматуры в характерных сечениях железобетонной плиты, работающей в трех направлениях: 1 – менее нагретой области, 2 – средней области пролёта, 3 – более нагретой области

Таким образом, повышенное искажение формы прогиба из-за высоких уровней тепловых вариаций имеет существенные последствия для развития сжатого бетонного кольца и растянутой арматурной сетки, реализующего простран-

ственную работу плиты при нагреве. Возникающие высокие локальные деформации дробления бетона и механические деформации арматуры не будут учтены в случае предположения о равномерности температуры среды, которое используется обычно при проектировании.

Список литературы

1. Федоров, В.С., Левитский В.Е. Термосиловое сопротивление железобетонной балки при ограничении перемещений на опорах / В.С. Федоров, В.Е. Левитский // Строительство и реконструкция. – 2020. № 6 (92). – С. 66-74.
2. Федоров, В.С. Модель термосилового сопротивления железобетонных элементов стержневых конструкций / В.С. Федоров, В.Е. Левитский, И.А. Соловьев // Строительство и реконструкция. – 2015. № 5 (61). – С. 47-55.
3. Bailey, C.G. Membrane action of unrestrained lightly reinforced concrete slabs at large displacements // Engineering Structures. 2001. N 23(5). P. 470-483.
4. Золина Т.В., Стрелков С.П., Купчикова Н.В., Шаяхмедов Р.И., Кондрашин К.Г. Мониторинг разрушения и обмеления водных объектов, берегоукрепительных сооружений в дельте реки волги в рамках программы "Экология безопасного строительства". Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020. Т. 47. № 4. С. 132-140.
5. Купчикова Н.В., Шаяхмедов Р.И. Экспериментальные исследования с ложными ограничениями при разработке способа возведения инъекционных свай. Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2020. № 3 (33). С. 58-62.
6. Купчикова Н.В. Экспертиза геоподсоны, оснований и фундаментов глубокого заложения: региональные особенности учёта и оценки деформаций при эксплуатации. Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2020. № 3 (33). С. 63-68.
7. Купчикова Н.В., Гурова Е.В. Экспертиза геоподсоны и свайных фундаментов объектов незавершённого строительства. Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2020. № 4 (34). С. 73-78.
8. Bailey, C.G. Behaviour of concrete floor slabs at ambient and elevated temperatures / C.G. Bailey, W.S. Toh // Fire Safety Journal. 2007. 42(6-7). P. 425-436.
9. Moss, P.J. The fire behaviour of multi-bay, two-way reinforced concrete slabs. / P.J. Moss, R.P. Dhakal, G. Wang & A.H. Buchanan // Engineering Structures. 2008. V. 30(12). P. 3566-3573.

© В. Е. Левитский, П. А. Матвиенко, В. Е. Матвиенко

Ссылка для цитирования:

Левитский, В. Е., Матвиенко П. А., Матвиенко В. Е. Влияние изменения пространственной вариации температуры на сжатое бетонное кольцо и растянутую арматуру // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 4 (38). С. 55-60.