

и упругие постоянные бетона  $H = 0,2$  м;  $\nu_b = 0,17$ ;  $E_b = 2,9 \cdot 10^4$  МПа; упругое основание  $h = 5$  м;  $E_0 = 3 \cdot 10^7$  Па;  $\nu_0 = 0,35$ ;  $K = 9629,63$  кН/м<sup>3</sup>. Также принято, что равнодействующая внешних сил равна 1 и проходит через середину плиты. Количество участков Б. Н. Жемочкина принято равным 17. Силы  $P_1-P_4$  неизвестны и вызывают одинаковые перемещения точек 1, 7, 11, 17 плиты. На рисунках 3, 4 показаны графики распределения контактных напряжений (кПа) и эпюры моментов, кН, (графики для основания Винклера – слева, а для упругого слоя – справа).

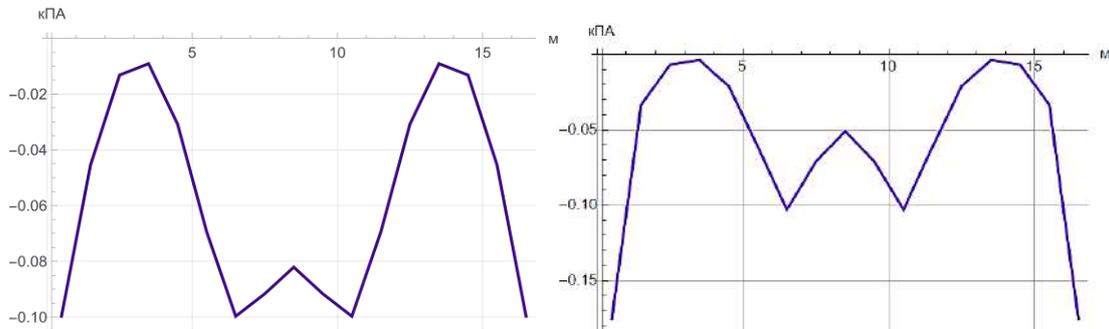


Рисунок 3 – Графики распределения напряжений

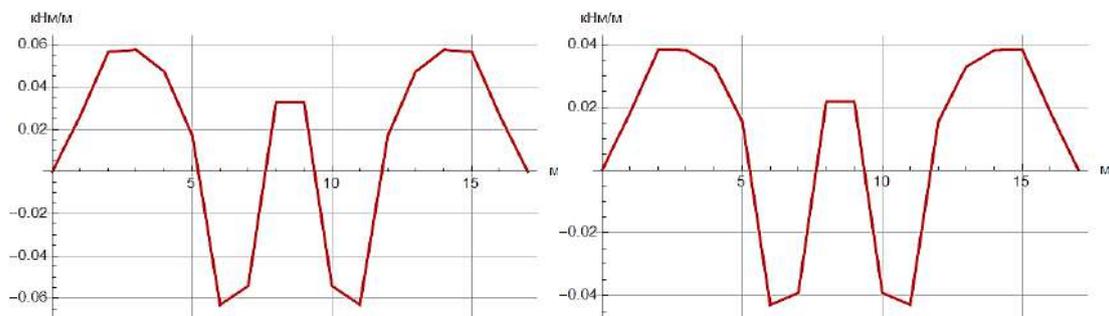


Рисунок 4 – Эпюры моментов

Все расчеты выполнялись в программном комплексе *Wolfram Mathematica 12.2*.

Как показывает сравнение экстремальных величин распределения контактных напряжений и эпюр моментов, наблюдается различие в результатах двух расчётов.

#### Список литературы

- 1 Жемочкин, Б. Н. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. Н. Жемочкин, А. П. Сеницын. – М. : Стройиздат, 1962. – 239 с.
- 2 Горбунов-Посадов, М. И. Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова. – М. : Стройиздат, 1973. – 626 с.

УДК 539.37:004.94

## КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

*И. Е. КРАКОВА, О. И. ЯКУБОВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. М. КАРАБАЕВ*

*Ташкентский государственный университет транспорта, Республика Узбекистан*

Абсолютное большинство строительных и машиностроительных конструкций эксплуатируется в условиях, изменяющихся с течением времени. Как известно, изменение температуры статически неопределимых конструкций приводит к появлению температурных напряжений, которые в неко-

торых случаях достигают значительных величин и в сочетании с напряжениями от приложенных сил и моментов могут приводить к образованию трещин и разрушению конструкций [1]. В частности, одной из причин появления трещин в дорожном покрытии является циклическое изменение температур их слоев, происходящее как в течение суток, так и календарного года [2].

Если распределение температур на границах конструкций в большинстве случаев известно, то характер их изменения внутри материала в большинстве случаев заранее неизвестен. Поэтому для определения напряженно-деформированного состояния сначала требуется установить величины температур в различных точках конструкции, а затем уже осуществлять расчет прочности. В некоторых случаях температурные деформации оказываются значительными, и требуется выполнять несколько итераций, чтобы получить значения напряжений и деформаций с необходимой точностью. Кроме того, изменение температуры материала может приводить к изменению его механических характеристик, что также может приводить к дополнительным расчетам. Целью исследования стала разработка методики расчета напряженно-деформированного состояния конструкций, состоящей из нескольких элементов, имеющих значительно отличающиеся физические характеристики, с учетом изменения температуры по объему в среде программного комплекса ANSYS.

На первом этапе исследования в качестве объекта исследования принята однородная плита прямоугольной формы. Принято, что одна из ее граней нагрета по сравнению с температурой окружающей среды. Расчет напряженно-деформированного состояния плиты требует последовательного решения двух задач: о проведении температурного анализа и определении деформаций.

Исходными данными для разработки конечноэлементной модели на первой стадии расчета (при температурном анализе) помимо геометрии конструкции являются коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость и температура окружающей среды. В рассматриваемом случае в качестве граничных условий принято, что нагрев осуществляется по верхней поверхности плиты, срединная плоскость которой расположена горизонтально. В результате расчета получено распределение температуры по объему тела, которые программой формируются в файл с расширением \*.rth.

После этого выполняется статический структурный анализ, исходными данными для которого являются результаты температурного анализа, дополненные параметрами, необходимыми для статического анализа. Здесь задаются соответствующие граничные условия, распределенные и сосредоточенные силы, а также вводятся механические характеристики материалов, в том числе коэффициент линейного расширения. При запуске на расчет ANSYS запрашивает данные температурного анализа, которые содержатся в файле с расширением \*.rth. В соответствии с данным алгоритмом выполнены расчеты для случая закрепления плиты с двух противоположных торцевых граней. В результате расчетов было получено распределение напряжений по объему плиты размерами  $1 \times 0,5 \times 0,1$  м при ее нагреве на  $20^\circ$ . На основании полученных результатов температурного анализа выполнены расчеты напряжений и деформаций плиты при условии запрета перемещений торцевой площади меньшего размера по трем осям. В этом случае получено, что плита удлинилась на 0,1 мм, а максимальные значения напряжений по Мизесу в области закрепления составили 173 МПа.

На втором этапе выполнен анализ влияния температуры на напряженно-деформированное состояние сэндвич-панели, состоящей из двух металлических обшивок и среднего слоя, выполненного из материала с малыми модулем упругости и коэффициентом теплопроводности. При температурном анализе выполнены расчеты распределения температуры по сэндвич-панели при условии нагрева одной из обшивок. Результаты вычислений соответствуют известным теоретическим зависимостям. Далее путем выполнения структурного анализа получено, что точки на противоположной торцевой грани плиты длиной 7,2 м, закрепленной с торцевой стороны по всей площади, при нагреве верхней ее обшивки на  $20^\circ$  получили максимальное отклонение от центральной оси плиты 3,5 мм. Расчет напряжений по Мизесу показал, что напряжения изменяются от 6 кПа до 397 МПа.

Анализ полученных результатов показал, что при исследовании напряженно-деформированного состояния деталей конструкций, эксплуатируемых в условиях изменения температур, важно учитывать не только внешние нагрузки, но и распределение температуры по объему тела, поскольку комплексное воздействие на конструкцию может привести к ее повреждению.

#### Список литературы

- 1 Старовойтов, Э. И. Механика материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 379 с.
- 2 Predicting asphalt pavement temperature with a three-dimensional finite element method / Minhoto M. J. C. [et al.] // Transportation Research Record. – 2005. – Vol. 1919, no 1. – P. 96–110.