

УДК 624.072

ИССЛЕДОВАНИЕ НДС СИСТЕМЫ  
«БАЛОЧНАЯ ПЛИТА – ДВУХСЛОЙНОЕ ОСНОВАНИЕ С НАКЛОННЫМ СЛОЕМ»  
С УЧЕТОМ ПРОДОЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ЗОНЕ КОНТАКТА

А. Г. ПУСЕНКОВ

Белорусский государственный университет транспорта  
Гомель, Беларусь

Актуальность тезисов заключается в том, что в расчетах балочных плит на произвольном упругом основании традиционно учитываются только нормальные напряжения в зоне контакта, а в представленной работе используется новая методика расчета, учитывающая продольные деформации в зоне контакта.

Балочная плита ленточных фундаментов мелкого заложения находится на упругом двухслойном основании с наклонным слоем и внешней нагрузкой  $q(x)$ . Параметры плиты: высота  $h$ , ширина  $2l$ , изгибная жесткость  $EJ$  (постоянная). Упругое основание неоднородно и физически нелинейно: в каждом слое модуль деформации переменный.

Вводим гипотезы (предположения) и допущения для расчета балочных плит на упругом основании: гипотезы теории упругости справедливы для рассчитываемой области упругого основания; допущения и гипотезы плоского изгиба балки справедливы для плиты.

Для решения рассматриваемой задачи применяется вариационно-разностный метод (ВРМ), который реализуется в перемещениях через конечно-разностные соотношения теории упругости (плоская деформация) при использовании функционала полной потенциальной энергии деформации системы:

$$\mathcal{E} = U + A + P, \quad (1)$$

где  $U$  – энергия деформации плиты;  $A$  – энергия деформации упругого основания;  $P$  – работа внешней нагрузки.

Основание при расчете заменяется прямоугольной расчетной областью конечных размеров, на границах которой перемещения равны нулю; в контактной зоне справедливо равенство осадок основания прогибам плиты.

Сначала решается задача в линейной постановке. По вычисленным значениям перемещений  $i$ -й узловой точки  $(u_i(x), v_i(y))$  используются геометрические уравнения Коши и конечно-разностные соотношения, определяются интенсивности деформаций и напряжений в центрах ячеек (см. формулы теории упругости).

Имея значения напряжений и перемещений, полученные в результате решения задачи в первом приближении, определяется касательный модуль деформации для каждой ячейки, и задача решается во втором и последующих приближениях с учетом изгибной и продольных жесткостей балочной плиты:

$$E_i^{(n)} = \frac{E_{ok}}{ch^2 \left( \frac{E_{ok}}{\sigma_{yk}} \varepsilon_i^{(n-1)} \right)}. \quad (2)$$

Итерационный процесс заканчивается, как только разница между последующим и предыдущим приближением исследуемой функции будет соответствовать требуемой точности решения задачи:

$$\delta_f = \frac{f_{\max}^{(n)} - f_{\max}^{(n-1)}}{f_{\max}^{(n)}} \cdot 100 \% \leq \xi, \quad (3)$$

где  $f_{\max}^{(n)}$ ,  $f_{\max}^{(n-1)}$  – максимальные значения исследуемой функции для последующей и предыдущей итераций;  $n$  – номер итераций.

Для решения задачи составлена расчетная программа в компьютерной среде Wolfram Mathematica 10.0 и проведена ее числовая апробация для двуслойного основания с наклонным слоем.

Параметры упругого основания:

– первый слой – супесь:  $\sigma_{y1} = 0,2$  МПа;  $\nu = 0,3$ ;  $E = 20$  МПа;

– второй слой – песок средней крупности:  $\sigma_{y2} = 0,4$  МПа;  $\nu = 0,35$ ;  $E = 40$  МПа.

Параметры балочной плиты: бетон марки С 20/25,  $E_{\sigma} = 2,75 \cdot 10^{10}$  Па,  $2l = 1,6$  м,  $h = 0,3$  м, равномерная нагрузка заменяется сосредоточенными силами  $P1 = P3 = 100$  кН,  $P2 = 200$  кН (рис. 1). Критерий сходимости – 3 %.

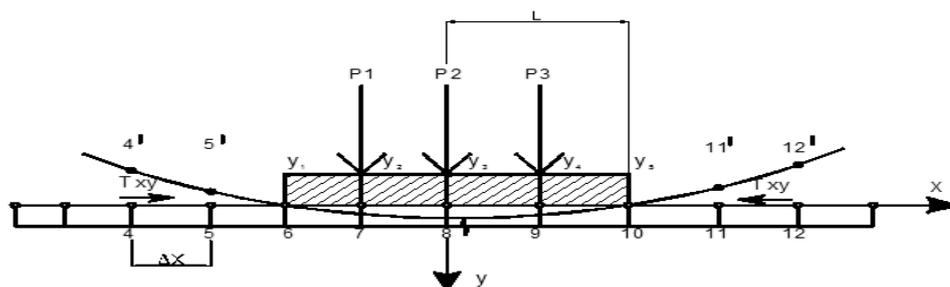


Рис. 1. Зона контактного взаимодействия

На рис. 2 приведены эпюры вертикальных перемещений двухслойного основания с наклонным слоем под балочной плитой с учетом касательных напряжений и без них (сходимость – 2,4 %).

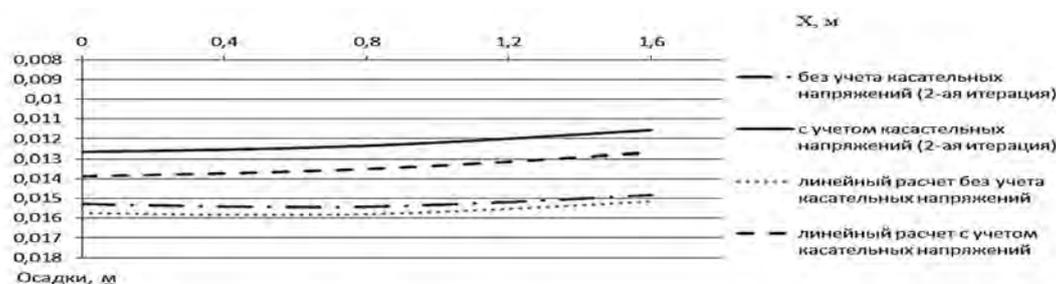


Рис. 2. Эпюра вертикальных перемещений под балочной плитой (осадки основания)

Уменьшение осадок двухслойного основания до 25 % в зоне контакта с балочной плитой указывает на значительное влияние продольных деформаций при введении их в статические расчеты.