

**НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЕТ
СИСТЕМЫ «БАЛОЧНАЯ ПЛИТА – СЛОИСТОЕ ОСНОВАНИЕ»
С ПЕРЕМЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПУАССОНА**

О. В. КОЗУНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Для решения контактной задачи «балочная плита – слоистое основание» используется вариационно-разностный метод (ВРМ) – симбиоз метода Ритца-Тимошенко в нелинейной постановке и метода конечных разностей (МКР) в численной реализации. В силу нелинейности рассматриваемая задача решается методом упругих решений Ильющина [1, 2]. Неоднородная среда моделируется как слоистое основание с переменными параметрами упругости: модулем деформации и коэффициентом Пуассона послойно. Закон нелинейно-упругого деформирования аппроксимируется функцией гиперболический тангенс [3–6].

Постановка задачи. В работе решается контактная задача нелинейной теории упругости (плоская деформация): *линейно-упругая* плита (ширина $2l$, изгибная жесткость EJ) на *нелинейно-упругом* слоистом основании с торфяной линзой в несущем слое. Плита находится под действием симметричной нагрузки. Параметры упругости переменные.

При постановке формулируемой задачи используются гипотезы и допущения теории упругости [3, 6]. При расчете неоднородное основание заменяется прямоугольной расчетной областью.

Алгоритм нелинейного расчета. Для k -го слоя упругого основания выбирается модель упругого слоя конечной толщины с переменными параметрами упругости. Модуль деформации упругого слоя принимается касательным. Коэффициент Пуассона ν_k изменяется функционально [1, 2] в соответствии с формулами (1), (2).

Соотношения теории малых упругопластических деформаций между интенсивностями напряжений и деформаций представляются из обобщенного закона Гука

$$\varepsilon_{i(x)}^{(k)} = \frac{1}{E_i^{(k)}} \sigma_x - \nu_i^{(k)} (\sigma_y - \sigma_z) . \quad (1)$$

Тогда коэффициент Пуассона можно вычислить по формуле

$$\nu_i^{(n)} = \left(0,5 - \frac{1 - 2\nu_{0k}}{3E_{0k}} \cdot \frac{\sigma_i^k}{\varepsilon_i^k} \right) \cdot \left(1 + \frac{1 - 2\nu_{0k}}{3E_{0k}} \cdot \frac{\sigma_i^k}{\varepsilon_i^k} \right)^{-1} . \quad (2)$$

Появление пластических деформаций учитывается изменением модуля упругости и коэффициента Пуассона, которые являются в каждом приближении функциями пространственных координат.

Хотелось бы отметить, что ранее в работах [3–6] коэффициент Пуассона учитывался постоянным в силу малости изменения своего значения [7].

Сформулированная задача решается минимизацией функционала полной энергии расчетной модели «балочная плита – слоистое основание», который получается суммированием функционала энергии деформаций упругого основания U_f , функционала энергии изгиба плиты Ω_b и потенциала внешней нагрузки Π :

$$\mathcal{E} = U_f + \Omega_b + \Pi \quad (3)$$

Каждое из слагаемых в формуле (3) определяется соотношениями из работ [3–6].

Численные результаты. В первом приближении сформулированная задача нелинейного расчета решается в линейной постановке (нулевая итерация). По вычисленным значениям перемещений i -й узловой точки $u_i(x)$, $v_i(y)$ определяются интенсивность деформаций и интенсивность напряжений в узлах ячеек.

По имеющимся значениям напряжений и перемещений, полученных в результате решения задачи в первом приближении, определяется касательный модуль деформации и переменный коэффициент Пуассона (1, 2) для каждой ячейки разбивочной сетки и задача решается во втором и после-

дующих приближениях (первая и вторая итерация соответственно). Итерационный процесс заканчивается по достижению соответствия критерия сходимости требуемой точности решения задачи.

При числовой апробации алгоритма нелинейного расчета использовались следующие параметры системы «балочная плита – слоистое основание»: 1-й слой основания (песок средней плотности) – $\sigma_{y1} = 0,2$ МПа; $\nu_1 = 0,3$; $E_{01} = 25$ МПа; 2-й слой основания (суглинок) – $\sigma_{y2} = 0,25$ МПа, $\nu_2 = 0,33$; $E_{02} = 30$ МПа; торфяная линза – $\sigma_{yv} = 0,05$ МПа; $\nu_v = 0,35$; $E_{0v} = 6$ МПа; железобетонная плита (бетон марки С20/25) – $E_6 = 2,35 \cdot 10^{10}$ Па; $P = 90\,000$ Н; $l = 1,2$ м; $h = 0,5$ м.

На рисунке 1 приведены эпюры осадок основания и балочной плиты (3-я итерация) при моделировании закона нелинейно-упругого деформирования основания гиперболическим тангенсом с переменными параметрами упругости: касательный модуль упругости и переменный коэффициент Пуассона.

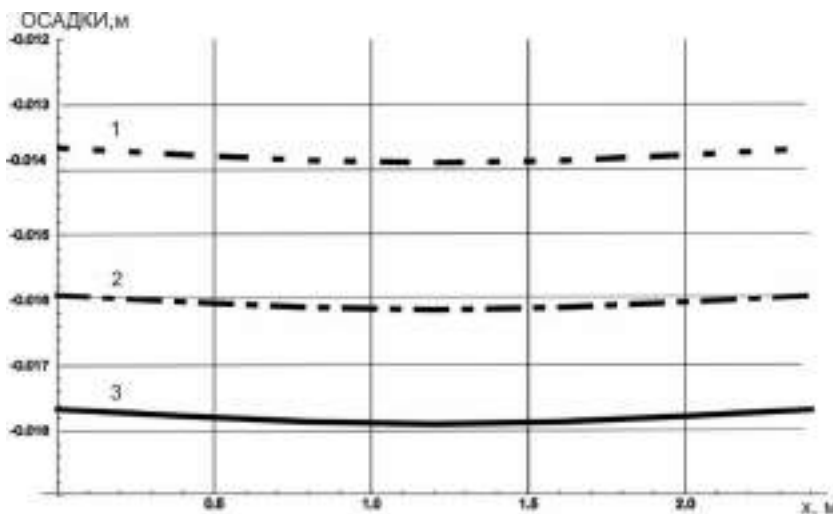


Рисунок 1 – Осадки основания и плиты в контактной зоне (3-я итерация):
 1 – «линейный расчет» (0,013917 м); 2: E – переменный, ν – переменный (0,01611 м);
 3: E – переменный, ν – постоянный (0,01786 м).

Из графиков на рисунке 1 следует, что учет переменного коэффициента Пуассона в нелинейных расчетах уточняет прогибы плиты в сторону уменьшения на 9,08 %. В свою очередь значения внутренних усилий в балочной плите (рисунок 2), рассчитанные с учетом изменения коэффициента Пуассона, почти полностью между собой совпадают ($\delta \approx 1$ %), и не зависят от переменности коэффициента Пуассона.

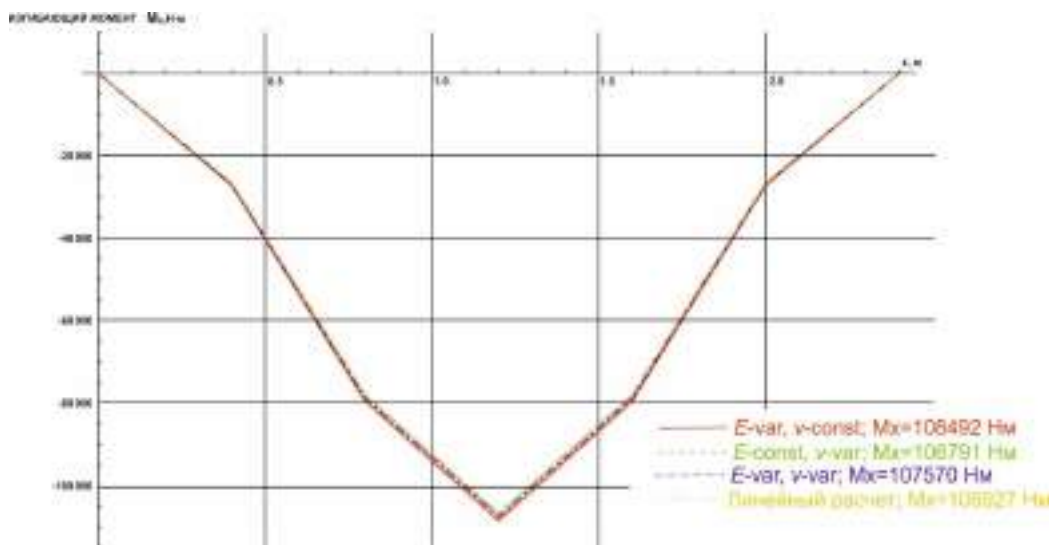


Рисунок 2 – Эпюра изгибающих моментов (третья итерация)

Выводы. Таким образом, в нелинейных расчетах можно не учитывать изменение коэффициента Пуассона по глубине расчетной области для упрощения моделирования итерационного процесса, так как при его учете в расчете значения параметров деформированного состояния балочной плиты изменились в диапазоне заданной точности и практически не изменились значения параметров напряженного состояния.

Список литературы

- 1 Александров, А. В. Основы теории упругости и пластичности / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – М. : Высш. шк., 1990. – 398 с.
- 2 Петров, В. В. Нелинейная инкрементальная строительная механика / В. В. Петров. – М. : Инфра-Инженерия, 2014. – 480 с.
- 3 Босаков, С. В. Вариационно-разностный подход к решению контактной задачи для нелинейно-упругого неоднородного основания. Плоская деформация. Теория расчета. Ч. 1 / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Вестник БНТУ. – 2009. – № 1. – С. 5–13.
- 4 Козунова, О. В. Нелинейный расчет балочных плит на слоистых основаниях с биогенными включениями / О. В. Козунова // Геотехника Беларуси: теория и практика. – Минск : БНТУ, 2008. – С. 37–65.
- 5 Козунова, О. В. Нелинейный расчет фундаментных плит на слоистых основаниях, ослабленных биогенными включениями / О. В. Козунова // Вестник гражданских инженеров. – 2009. – № 2 (19). – С. 100–104.
- 6 Босаков, С. В. Балочная плита на нелинейно-неоднородном основании с местным ослаблением / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Строительная механика и расчет сооружений. – М. : ЦНИИСК им. Кучеренко, 2016. – № 5 – С. 15–19.
- 7 Симвулиди, И. А. Расчет инженерных конструкций на упругом основании / И. А. Симвулиди. – М. : Высш. шк., 1973. – 480 с.

УДК 728

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВРЕМЕННЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

О. Н. КОНОВАЛОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

К жилью повышенной комфортности как виду планировочного решения применяются следующие критерии: высота жилого этажа более 3 м, площадь квартиры более 140 м², инженерное оборудование с индивидуальными поквартирными приборами отопления, индивидуальная автоматизированная система видеонаблюдения, центральное кондиционирование воздуха и др. Планировочный коэффициент в жилых зданиях повышенной комфортности может превышать два. Внутренняя отделка полов и стен предполагает использование современных облицовочных материалов. Комфортные условия также обеспечиваются наличием физкультурно-оздоровительного комплекса, зимнего сада, крытого паркинга и пр.

Основой для решения этой важнейшей социальной задачи явилась разработка в республике открытых универсальных архитектурно-строительных систем зданий. Здания таких систем включают несущий пространственный каркас с плоскими дисками перекрытий и поэтажно опертые на перекрытия или навесные на каркас наружные стены. Внутренние объемы здания разделены перегородками, устанавливаемыми в любом месте. Таким образом, все конструкции здания разделены на несущие и ограждающие, не допуская совмещения их функций. Это позволило даже, например, по сравнению с КПД в два и более раза снизить массу здания и за счет сокращения материалоемкости существенно (до 25–30 %) снизить общую стоимость строительства. Вместе с тем высвобождение наружных стен от восприятия общих нагрузок, прикладываемых к зданию, позволяет для их устройства использовать малопрочные, но зато энергоэффективные материалы и легкие ограждающие конструкции, обеспечивающие высокую тепловую защиту зданий. В целом благодаря конструктивному решению достигнутое сокращение энергозатрат составляет 26–35 % при строительстве и до 45–60 % при эксплуатации зданий.

Наличие в зданиях каркаса с плоскими дисками перекрытий позволяет создавать целостную художественно-выразительную пространственную систему со свободным и неограниченно разнообразным объемно-планировочным построением, легко трансформируемым по желанию потребителя при эксплуатации. Указанные каркасные здания позволяют реализовать любой стиль архитектуры, определяемый системой функциональной и пространственной организации сооружения в пропорциях, пластике, декоре, наиболее полно учесть градостроительную ситуацию, а также специфику национальных архитектурных традиций, природно-климатических и других условий.