

подверженных биодеструкции, возможно только путем выполнения комплекса мероприятий: своевременного биомониторинга; восстановления поврежденных конструкций; защиты строительных конструкций от биологического воздействия окружающей среды; поддержания условий окружающей среды, препятствующей развитию биокоррозии и т. п.

УДК 624.072.21.7

## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ БАЛОЧНОЙ ПЛИТЫ, РАСПОЛОЖЕННОЙ НА ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОМ СЛОИСТОМ ОСНОВАНИИ

О. В. КОЗУНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Для инженерного расчета системы «упругая плита – основание» в предлагаемой работе используется модификация *вариационного метода*: в нелинейной постановке и с применением численного метода – метода конечных разностей (МКР). В дальнейшем эта модификация называется *вариационно-разностным подходом* (ВРП).

Неоднородное упругое основание моделируется совокупностью упругих слоев (УС) конечной толщины с переменным модулем деформации слоя  $E_k$ . Закон нелинейно-упругого деформирования основания описывается математически: функцией *гиперболический тангенс* и *степенной функцией* Бюльфингера. Модуль деформации упругого основания – *секущий* в сравнении с касательным. Коэффициент Пуассона в пределах каждого слоя постоянный. На контакте плиты с упругим основанием возникают только нормальные реактивные давления, силы трения малы. Для плиты справедливы гипотезы теории изгиба.

При расчете слоистая упругая среда заменяется прямоугольной расчетной областью. Основание аппроксимируется симметричной разбивочной сеткой с постоянным шагом по осям. *Граничные условия задачи*: на границах принятой расчетной области перемещения  $u = 0, v = 0$ ; в контактной зоне справедливо равенство осадок основания прогибам плиты.

В силу нелинейности рассматриваемая задача решается методом упругих решений в форме переменных параметров упругости, через итерационный алгоритм. За *неизвестные* принимаются:  $u(x), v(y)$  – компоненты вектора перемещения  $i$ -той узловой точки основания;  $p_y^{(i)}(x, y)$  – реактивные давления в зоне контакта упругой плиты с основанием.

*Алгоритм расчета в нелинейной постановке*. Закон нелинейно-упругого деформирования основания  $\sigma(\epsilon_i)$  для каждого слоя основания описывается математически в виде степенной функции Бюльфингера, в сравнении с ранее использованной функцией гиперболический тангенс,

$$\sigma_i^{(k)} = E_{0k}^m (\sigma_{i, \text{lim}}^{(k)})^{1-m} \epsilon_i^m, \quad (1)$$

где  $\sigma_{i, \text{lim}}^{(k)}$ ,  $E_{0k}$  – предельное (критическое) напряжение, близкое к пределу упругости, и начальный модуль деформации  $k$ -того слоя основания;  $m$  – экспериментальный параметр, зависящий от упругих характеристик неоднородной среды.

При каждой итерации модуль деформации центра  $j$ -той сеточной ячейки изменяется, и при вычислениях используется переменный модуль деформации в сравнении:

а) касательный модуль деформации

$$E_j^{(n)} = \frac{d\sigma_i^{(k)}}{d\epsilon_i} = m E_{0k}^m (\sigma_{i, \text{lim}}^{(k)})^{1-m} \epsilon_{i(n-1)}^{m-1}, \quad (2)$$

б) секущий модуль деформации

$$E_j^{(n)} = \frac{\sigma_i^{(k)}}{\epsilon_i} = E_{0k}^m (\sigma_{i, \text{lim}}^{(k)})^{1-m} \epsilon_{i(n-1)}^{m-1}, \quad (3)$$

где  $n$  – номер последующей итерации, с учетом того, что в первом приближении  $n = 1$ .

Решение контактной задачи строится в перемещениях и реализуется методом конечных разностей (МКР), т. е. заменой дифференциальных уравнений линейными конечно-разностными соотношениями. Энергия деформаций упругого основания получается суммированием по объему основания энергий деформаций прямоугольных участков для каждой ячейки МКР. В результате система дифференциальных уравнений заменяется системой линейных алгебраических уравнений (СЛАУ).

Внутренние усилия в сечениях упругой плиты определяются через вертикальные перемещения узловых контактных точек:

$$Q^{(k)} = -EJ \frac{d^3 y_k}{dx^3} \pm q_k(x) \cdot \Delta x_k, \quad M^{(k)} = -EJ \frac{d^2 y_k}{dx^2}, \quad (4)$$

где  $\Delta x_k$  – участок плиты под действием внешней нагрузки  $q_k(x)$ ; знак «+» – для левых сечений плиты, знак «-» – для правых сечений плиты.

Для предлагаемого выше алгоритма нелинейного расчета с использованием ВРП составлена программа на языке *Mathematica 6.0* и проведена ее числовая апробация для двухслойных оснований с учетом местных ослаблений.

**Результаты расчета** показали, что характер и вид эпюр внутренних усилий в сечениях линейно-упругой плиты полностью соответствуют гипотезам и допущениям линейной теории упругости; значения внутренних усилий отличаются и зависят от функции в законе нелинейно-упругого деформирования основания и модели переменного модуля деформации.

Исследование НДС балочной плиты, расположенной на физически нелинейном слоистом основании, показало, что в нелинейных расчетах по деформационной модели предпочтительнее использовать касательный модуль деформации в виде переменного и функцию гиперболический тангенс в законе нелинейно-упругого основания.

УДК 691.175.5/8

## О ВОПРОСЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А. В. КОЛОМИЕЦ, А. Г. ГОРДЮК, П. Г. ДЕМИДОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Доля полимерных композитов в общем объеме стройматериалов остается низкой. Композит выгодно применять там, где его высокая стоимость компенсируется особыми свойствами.

Говоря о применении новых материалов на основе пластиков в стройиндустрии, стоит заметить следующее. Если в гражданском строительстве в основном применяются «традиционные» материалы, то в таких секторах, как, строительство мостов, железных дорог, мостов и др., у полимерных композитов есть неплохие перспективы.

Строительство – это размытый термин, который включает в себя самые разные механические нагрузки, начиная с легких нагрузок, которым подвергаются щиты, корпуса, гнезда для защиты оборудования или звуконепроницаемых стен, и заканчивая сверхвысоким давлением, которое выдерживают опоры для мостов. Для поиска решений, применимых в этих несхожих ситуациях, в гражданском строительстве применяются очищенные пластмассы или композиты:

- обычно применяемые в легких строительных конструкциях;
- периодически используемые в специализированных (нишевых) конструкциях;
- предназначенные исключительно для крупных строительных конструкций, например, мостов.

В гражданском строительстве используются традиционные материалы, например бетон и сталь, для которых характерна низкая стоимость компонентов, но высокая стоимость обработки и установки, а также низкие возможности обработки. Результатом внедрения пластмасс может стать следующее:

- сокращение итоговых расходов;