

Оптимизация многослойной плиты на упругом основании методом сокращения ресурсов

Вербицкая О.Л., Шевчук Л.И.

Белорусский национальный технический университет

В статье ставится задача оптимизации прямоугольной многослойной прямоугольной плиты на упругом основании. Предложен порядок расчета методом сокращения ресурсов прочности и жесткости. Приведен пример расчета трехслойной плиты, нагруженной в средней части давлением оси автомобиля.

Ставится задача оптимизации многослойной плиты на упругом основании по стоимости затраченных материалов на ее изготовления. Статический расчет прямоугольной плиты выполняется методом конечных элементов. Численная модель построена из прямоугольных изгибных конечных элементов с четырьмя узлами и двенадцатью степенями свободы. Нагрузка прикладывается в виде вертикальных узловых сил. Используется винклеровское основание, представленное в виде упругих вертикальных стержней, прикрепляемых одним концом к узлам конечно-элементной модели, а другим – к жесткой опоре.

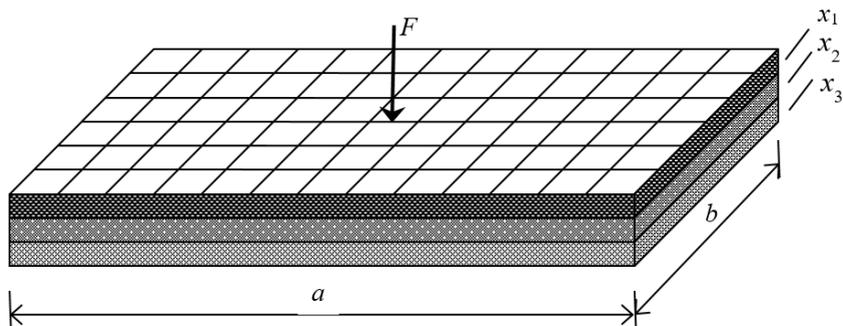


Рис. 1. Конечно-элементная сетка и многослойная плита

Жесткость основания принимается по перемещению стандартного штампа. Для этого устанавливается закон изменения осадки абсолютно жесткой плиты от жесткости стержней, моделирующей винклеровское основание. Учет собственного веса плиты исключает ее отрыв от основания.

Стоимость материалов, затраченных на изготовление плиты, зависит от объемов ее слоев и цены материалов этих слоев $C(\vec{X})$, $\vec{X} \in R^n$. Параметры оптимизации ограничены сверху и снизу.

$$x_{k \min} \leq x_k \leq x_{k \max}, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Кроме того, поставлено ограничение по прочности и жесткости

$$R_k - \sigma_{k \max} \geq 0, \quad w_{adm} - w_{\max} \geq 0 \quad (2)$$

где $x_{k \min}$, $x_{k \max}$ – максимальная и минимальная толщина k -ого слоя,

R_k – расчетное сопротивление материала k -го слоя

w_{adm} , w_{\max} – допускаемый и максимальный прогибы

Разработан алгоритм и составлена программа оптимизации прямоугольной многослойной плиты с выбором шага поиска решения по ресурсам прочности и жесткости. Для сокращения времени статического расчета плиты используется средне взвешенный модуль

$$E_{eq} = \frac{\sum_{k=1}^n E_k x_k}{\sum_{k=1}^n x_k} \quad (3)$$

Расчет начинается с назначения стартовой точки, расположенной в неограниченной области поиска [1]. Для определения очередной точки поиска оптимального решения использованы ресурсы прочности и жесткости (1), (2).

$$x_k^z = \min \begin{cases} x_k^0 - \omega(x_k^0 - x_{kadm}); \\ x_k^0 - \omega\left(\frac{w_{adm} - w_0}{w_s - w_0}\right)(x_k^0 - x_k^s); \\ x_k^0 - \omega\left(\frac{R - \sigma_0}{\sigma_s - \sigma_0}\right)(x_k^0 - x_k^s), \end{cases} \quad (4)$$

где x_k^z , x_k^0 – прогнозируемый и текущий параметры оптимизации;

ω – множитель релаксации $0 < \omega \leq 1$;

x_{kadm} , w_{adm} – минимально допустимые толщина и прогиб пластины;

w_0 – прогиб пластины в центральной точке;

w_s – прогиб пластины в базовой точке, в направлении которой совершается движение;

x_k^s – параметр оптимизации в базовой точке, соответствующей наименьшему объему пластины, т.е. в направлении которой совершается движение;

R – расчетное сопротивление материала;

σ_0 , σ_s – максимальные напряжения в пластине, соответствующее центральной точке и базовой точке;

s , k – номера базовой точки и параметра оптимизации;

По результатам, полученным из выражения (4), определяется шаг текущего приближения

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_k^z - x_k^0)^2}, \quad (5)$$

Рассмотрен пример оптимизации трехслойной плиты на упругом основании. Приняты следующие исходные данные: размеры плиты в плане $5 \times 3,75$ м; коэффициент жесткости основания $k_o = 50$ МПа/м; классы бетонов слоев плиты – модули и цена бетона слоев плиты $C^{45/55}$, $C^{25/30}$, $C^{12/15}$. Коэффициент поперечной деформации $\nu = 0,18$; плотность бетонов слоев плиты $\rho = 2500$ кг/м³; сила давления оси автомобиля на плиту $F = 65 \times 2 = 130$ кН; динамический коэффициент $k_d = 1,44$.

По программе *PlitaFund* рассчитаем плиту при сосредоточенной нагрузке в виде двух сил $F = 100$ кН, приложенных на левых углах плиты.

В результате оптимизации заданной плиты получены толщины слоев плиты $h_1 = 5$ см, $h_2 = 5$ см, $h_3 = 8$ см, приведенный момент $M_{eq} = 4,86$ кНм/м и эквивалентное напряжение $\sigma_{eq} = 20,27$ МПа, максимальный прогиб $w = 2,79$ мм и ее стоимость $C = 306,4$ руб.

Выводы.

1. Поставлена задача оптимизации многослойной прямоугольной плиты на винклеровском основании.

2. Для расчета использован средне взвешенный модуль упругости многослойной плиты.

3. Предложен метод поиска направления и величины шага при оптимизации плиты с учетом сокращения ресурсов прочности и жесткости.

4. Получена конструкция оптимальной трехслойной прямоугольной плиты, нагруженной вертикальными силами в ее середине.

Литература

1. Вербицкая О.Л. «Алгоритм оптимизации прямоугольных пластинок методом градиентного спуска с навигацией направления поиска вблизи границ». Научно-технический журнал «Вестник БНТУ» № 2, Мн. 2004, с. 15–21.

УДК 624.131

Выбор термодинамических параметров для процесса сушки торфа

Воронова Н.П.

Белорусский национальный технический университет

В строительной отрасли использование торфа нашло свое применение. Насущным вопросом является качественная добыча и обработка материала. В работе исследуется вопрос первоначальной сушки торфа на основе баланса удельных тепловых потоков.

Рассмотрим процесс подсушивания слоя торфа на глубину h на основе исследования уравнения баланса удельных тепловых потоков, $\frac{Вт}{m^2}$ [1]:

$$q = \sum_{i=1}^3 q_i, \quad (1)$$

где q – удельный тепловой поток, поступающий на поверхность ($q = \alpha(T - T_{нов.})$); q_1 – часть удельного потока, идущая на нагрев сухого слоя

($q_1 = \frac{cp}{2} \left[\frac{dh}{dt} (T_{нов.} - T_m) + h \frac{dT_{нов.}}{dt} \right]$ [2]); q_2 – часть удельного теплового по-

тока, идущая на нагрев влажной зоны ($q_2 = \frac{\lambda(T_m - T_o)}{\sqrt{\pi at}}$); q_3 – часть удельного

потока, идущая на испарение влаги ($q_3 = L \frac{dh}{dt} \rho (W_o - W_p)$), где c – удельная

теплоемкость сухого торфа, $\frac{Дж}{кг \cdot К}$; ρ – плотность сухого торфа,