

## УЧЕТ ПОДАТЛИВОСТИ СВЯЗЕЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЫ

При проектировании стержневой системы необходима информация об изменении ее напряженно-деформированного состояния в случае отклонения параметров конструкций от их начальных значений. Эту информацию можно получить посредством перерасчета системы при новых исходных данных, что не всегда целесообразно. Ниже показана возможность оценки напряженного состояния системы иным путем — посредством определения приращения усилий в зависимости от изменения ее жесткостей и податливости связей.

Функциональная зависимость усилий от жесткости стержней и податливости связей определяется уравнениями состояния конструкций

$$h(Z, B, \delta^*) = 0,$$

где  $Z$  — вектор искоемых переменных;  $B$  — жесткость стержня;  $\delta^*$  — податливость соединений.

Рассматривая эти уравнения как векторные функции [1], выполним разложение их в ряд и ограничимся только линейной частью:

$$\delta Z = - \left[ \frac{\partial h}{\partial Z} \right]^{-1} \left[ \frac{\partial h}{\partial B} \right] \delta B - \left[ \frac{\partial h}{\partial Z} \right]^{-1} \left[ \frac{\partial h}{\partial \delta^*} \right] \delta \delta^*.$$

С помощью этой зависимости можно оценить чувствительность искоемых переменных к изменению жесткости элементов системы и податливости связей. Проведенные расчеты для рамы мостового типа показали, что при малом шаге изменения  $B$  и  $\delta^*$  это выражение качественно верно отражает напряженное состояние конструкции и может использоваться при реальном проектировании стержневых систем.

Податливость соединений может существенно влиять на распределение усилий в конструкции, особенно при использовании уравнений  $h(Z, B, \delta^*) = 0$ , а не  $h(Z, B) = 0$ . Будем рассматривать изменение вектора  $B$  при известном  $\delta Z$  в уравнениях  $h(Z, B) = 0$ .

В общем случае найти  $\delta B$  из уравнения

$$\left[ \frac{\partial h}{\partial Z} \right] \delta Z + \left[ \frac{\partial h}{\partial B} \right] \delta B = 0$$

нельзя. Матрица  $\left[ \frac{\partial h}{\partial Z} \right]$  — квадратная,  $\left[ \frac{\partial h}{\partial B} \right]$  — в общем случае прямоугольная.

Поэтому возможны различные соотношения компонентов вектора  $B$ , приводящие к известному  $\delta Z$ . Если размерности векторов  $Z$  и  $B$  совпадают, из приведенной системы уравнений получаем единственное значение  $\delta B$ , соответствующее увеличению или уменьшению массы (или другого показателя) конструкции. Если размерность вектора  $Z$  больше, чем вектора  $B$ , получим систему

линейных уравнений, в которой число уравнений больше числа неизвестных. В этом случае, используя определенные правила линейной алгебры, можно определить  $\delta B$ . Когда размерность  $Z$  меньше, чем  $B$ , имеем неопределенную систему уравнений. Для улучшения того или иного показателя конструкции следует решить задачу линейного программирования.

Проверка высказанных выше положений осуществлялась на примере комбинированной системы [2]. Предполагалось, что небольшие изменения  $B$  не приводят к нарушению условий прочности и жесткости конструкции. В задачах оптимизации эти изменения необходимо учитывать. Изменение значений переменных проектирования приводит к расширению (или сужению) области допустимых решений, а следовательно, к изменению показателя качества конструкции.

Условия прочности  $\psi_j(Z, B) \leq 0$  явно зависят не от  $\delta^*$ , а от  $\delta Z$ . Поэтому ограничения для известного  $\delta Z$  могут быть линеаризованы и представлены в виде

$$\psi_j(Z^0, B^0) + \frac{\partial \psi_j(Z^0, B^0)}{\partial Z} \delta Z + \frac{\partial \psi_j(Z^0, B^0)}{\partial B} \delta B \leq 0.$$

Здесь второе и третье слагаемые – линейные приближения изменения  $\psi_j$  в точке  $(Z^0, B^0)$ .

Условия жесткости  $\psi_j(Z, B, \delta^*) \leq 0$  при фиксированных  $\delta^*$  в линеаризованной форме имеют вид

$$\psi_j(Z^0, B^0, \delta^*) + \frac{\partial \psi_j(Z^0, B^0, \delta^*)}{\partial Z} \delta Z + \frac{\partial \psi_j(Z^0, B^0, \delta^*)}{\partial B} \delta B \leq 0.$$

Таким образом, ограничения представляются линейными относительно  $\delta B$  функциями, что позволяет рассматривать задачу проектирования как задачу ЛП.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Х о г Э., А р о р а Я. Прикладное оптимальное проектирование. – М., 1983. – 478 с.
2. Б о р и с е в и ч А.А. Поэтапная оптимизация стержневых систем с использованием линейной аппроксимации // Техника, технология, орг. и экономика стр-ва: Строит. механика и строит. конструкции. – Мн., 1980. – Вып. 6. – С. 9–18.

УДК 624.072.2:042:681.3

П.В.АЛЯВДИН, В.П.МУРАШКО

### АНАЛИЗ ПРИСПОСОБЛЯЕМОСТИ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБОБЩЕННЫХ ВНУТРЕННИХ СИЛ

Совершенствование методики расчета и проектирования конструкций позволяет выявить резервы снижения их материалоемкости. Однако до настоящего времени не разработана методика расчета конструкций из идеально упругопластического [1, 2] материала на приспособляемость с учетом факти-