Литература

1. Паненкова Т.П. Статический расчет упругих нитей с учетом физической нелинейности материала. – Сб. трудов МИСИ. М., 1965, №47. 2. Алявдин П.Б. Расчет физически нелинейных вантово-стержневых систем с односторонними связями. – В сб.: 25-я науч.-техн. конф. БПИ. Мат-лы секции строит. механики. Минск, 1969. 3. Сидорович Е.М. Расчет физически нелинейных систем гибких нитей методом упругих решений. – В сб.: Висячие покрытия. М., 1973. 4. Сидорович Е.М. Расчет гибких пологих нитей с произвольным законом физической нелинейности. – В сб.: 26-я науч. – техн. конф. БПИ. Мат-лы секции строит. механики. Минск, 1970. 5. Качурин В.К. Теория висячих систем. – М. – Л., 1962.

УДК 624.072.2

В.В.Саяпин

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ШАРНИРНО-СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ

При проектировании разнообразных покрытий, расчетной схемой которых является произвольная шарнирно-стержневая система, необходимо выявить влияние нелинейной работы материала на напряженно-деформированное состояние конструкции. Для такого исследования нужно выбрать методику расчета, которая позволила бы учесть влияние всех нелинейных факторов. Число работ, посвященных расчету шарнирно-стержневых систем произвольной структуры по деформированной схеме, крайне мало, а расчет физически нелинейных шарнирно-стержневых систем, допускающих наличие стержней с различными физическими характеристиками, в литературе практически не рассматривается.

Поэтому для проведения численного исследования будут частично использоваться уравнения, полученные в работе [1]. Это – уравнения равновесия и геометрические уравнения, записанные в возмущенном состоянии, которые необходимо дополнить физическими уравнениями, допускающими произвольную нелинейную зависимость между усилиями и деформациями для каждого стержня в отдельности. Совместное решение уравнений равновесия с геометрическими и физическими уравнениями позволит при изменении внешней узловой нагрузки определить основные неизвестные – изменения погонных усилий в стержнях системы и координат подвижных узлов.

Итак, запишем уравнения равновесия шарнирно-стержневой системы в измененном (возмущенном) состоянии для подвижных узлов в единой прямоугольной системе координат [1].

$$S_*R_*S_*^TV + S_*(H_*+\Delta H_*)U = \Delta P, \qquad (1)$$

где приняты следующие обозначения:

$$S_* = \begin{Vmatrix} S & & \\ & S & \\ & & S \end{Vmatrix}; \quad R_* = \begin{Vmatrix} R^D & & \\ & R^D & \\ & & R^D \end{Vmatrix}; \quad H_* = \begin{Vmatrix} H_1^D \\ H_2^D \\ H_3^D \end{Vmatrix};$$

блочные столбцы ΔP и V составлены из подстолбцов ΔP_k и V_k, где k – номер координатной оси; S – усеченная матрица инциденций, соответствующая только подвижным узлам системы; R – матрица-столбец погонных усилий; H_k – столбец проекций длин стержней на координатную ось; V_k, U, ΔP_k – столбцы изменения координат подвижных узлов, погонных усилий и внешней узловой нагрузки; индекс T обозначает транспонирование, а D – операцию преобразования матрицы-столбца в диагональную матрицу.

Поскольку для большинства конструкций используют материалы, обладающие незначительными упругими деформациями, т.е. величиной их относительной деформации по сравнению с единицей можно пренебречь, то геометрические и физические уравнения запишутся так:

$$H_*^T S_*^T V + \frac{1}{2}\Delta H_*^T S_*^T V = L^D L^D \Gamma; \qquad (2)$$

$$E + \Gamma = \sum_{i=1}^{h} B_i^D G_o, \qquad (3)$$

где L – столбец длин стержней; Γ – столбец погонных деформаций стержней, обозначающих отношение применения длин стержней к их длинам в исходном состоянии; E – столбец относительных деформаций стержней, обозначающих отношения изменения длины стержня к его длине в ненапряженном, естественном состоянии; h – необходимое число слагаемых;

$$\Delta H_k = S^T V_k; \qquad \Gamma = (L^D)^{-1} \Delta L; \; B_i = \| b_{ij} \|;$$

$$G_o = \| \xi_j^{q_{ij}} \|; \| \xi_j \| = L^D (R+V), \; (j=1,2,\dots,c).$$

где c – число стержней системы.

Физические уравнения (3) приняты в обратной форме, что позволяет при подстановке выражения (3) в (2) получить единое физико-геометрическое уравнение

$$H_*^T S^T V + \frac{1}{2} \Delta H_*^T S_*^T V = L^D L^D \left\{ \sum_{i=1}^{h} B_i^D L_o^D \, (R + \right.$$

$$\left. + U)_o^D (R+V) - E \right\}, \tag{4}$$

где $E = \sum\limits_{i=1}^{h} B_i^D L_o^D R_o$;

$$L_o = \| l_j^{q_{ij}} \|; \; (R+U)_o = \| (r+U)_i^{q_{ij}-1} \|; \; R_o = \| r_j^{q_{ij}} \|.$$

Совместное решение уравнений равновесия (1) с физико-геометрическими уравнениями (4) при выполнении условия

$$n_j^{(-)} < n_j + \Delta n_j < n_j^{(+)} \tag{5}$$

позволит наиболее простым путем определить основные неизвестные U и V .

В неравенстве (5) $n_j^{(-)}$ и $n_j^{(+)}$ – предельные усилия соответственно на сжатие и растяжение в j -ом стержне. Для стержней, выполненных из гибких нитей и работающих только на растяжение, следует принять $n_j^{(-)} = 0$.

Пример. Исследуем работу предварительно напряженных шарнирно-стержневых систем, показанных на рис. 1, а, б при изменении внешней узловой нагрузки P. Материал стержней систем может быть принят линейно-упругим (рис. 2, I) или нелинейно-упругим (рис. 2, II). Расчет на действие внешней нагрузки выполняется по деформированной схеме.

При исследовании рассмотрено два случая работы шарнирно-стержневых систем, показанных на рис. 1. В первом случае

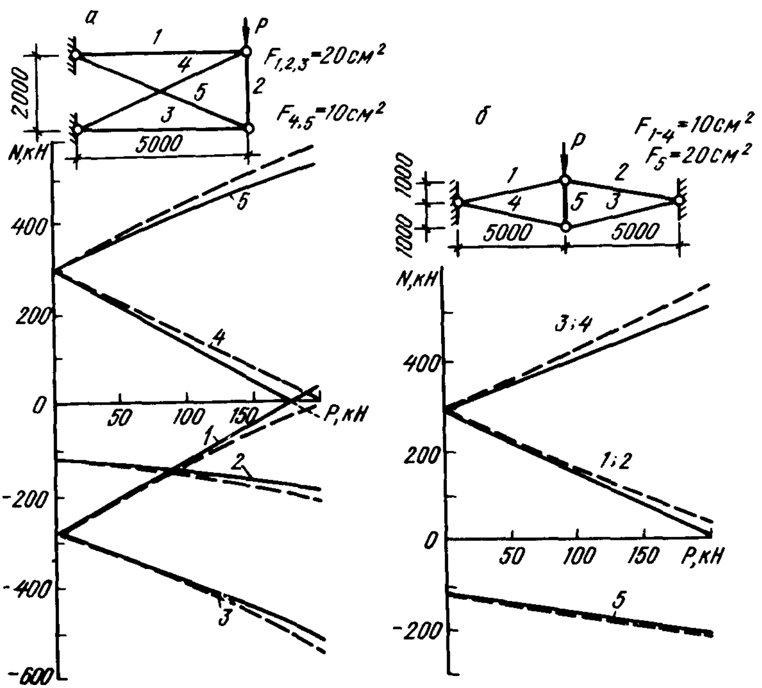

Рис. 1. Изменение усилий при действии внешней нагрузки в стержнях системы:

а — статически неопределимой; б — мгновенно-жесткой.

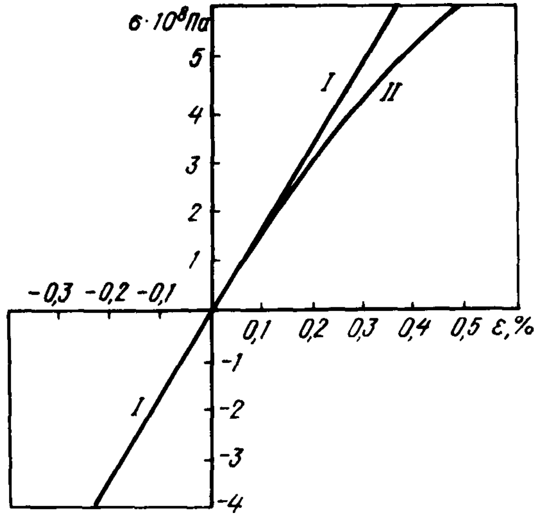

Рис. 2. Диаграммы напряжений при растяжении и сжатии для принятых материалов.

принято, что все стержни систем имеют физические характеристики, описанные диаграммой I (рис. 2). Изменение внутренних усилий в стержнях систем в этом случае показано соответственно на рис. 1 пунктирной линией.

В другом случае физические характеристики стержней приняты различными. Линейно-упругими считаются стержни 1, 2, 3 для системы на рис. 1,а и стержень 5 для системы на рис. 1, б, т.е. физические свойства этих стержней описаны диаграммой I (рис. 2). Остальные стержни в этих системах приняты нелинейно-упругими, выполненными из гибких нитей, а их физические свойства на рис. 2 представлены диаграммой II. Изменение внутренних усилий в системах в этом случае показано соответственно на рис. 1 сплошной линией.

Результаты численного исследования показали:

а) предлагаемый алгоритм расчета позволяет в простой форме рассчитывать произвольные шарнирно-стержневые системы с учетом геометрической и физической нелинейности;

б) при расчете предварительно напряженных шарнирно-стержневых систем необходимо учитывать физическую нелинейность элементов, выполненных из гибких нитей, поскольку при сжатии они выключаются из работы значительно раньше, чем в случае их рассмотрения как линейно-упругих;

в) учет физической нелинейности при расчете на стадии конструирования позволяет снизить материалоемкость конструкции, поскольку, как видно из рис. 1, усилия в этом случае во всех стержнях систем имеют минимальные значения.

Литература

1. Сидорович Е.М. Расчет шарнирно-стержневых систем по деформированной схеме. - Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1975, №2.

УДК 621.974

В.М.Селюков, И.С.Сырокващко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ МАШИН УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Чтобы предотвратить разрушения вследствие неравномерной осадки фундаментов несущих конструкций зданий, вызванной колебаниями фундаментов машин, частоты и амплитуды колебаний последних нормируются.