Кормилицын О.П.

Построение алгоритма расчета прочности и жесткости стержневых конструкций приборов и систем

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/lj-01-2021-60

idsp: ljjournal-01-2021-60

Аннотация

Приводится построение математической модели расчета прочности и перемещений конструкций приборостроения, в том числе и стержневых систем остеосинтеза переломов.

Ключевые слова: Прочность, жесткость, напряжение, плоская, пространственная стержневая система, остеосинтез

Abstract

Discusses the construction of mathematical model for calculating the strength and movements of the elements of the instruments design, including core systems osteosynthesis fractures

Keywords: Strength, stiffness, bending moment, shear force, rod

Рассматривается алгоритм исследования плоских и пространственных стержневых систем, позволяющий эффективно, без больших затрат машинного времени и оперативной памяти ПЭВМ решать задачи прочности конструкций приборов, биомеханических систем. И, в частности, исследование биомеханики остеосинтеза переломов стержневыми аппаратами внешней фиксации и пластинами ТРХ.

В основу алгоритма исследования стержневых систем положен метод перемещений, использующий аппарат функций влияния. Ввиду специфичности рассматриваемых конструкций и условий их работы разработка алгоритма велась с учетом следующих условий:

- на элементы конструкций действуют статические и динамические нагрузки, причем, как сосредоточенные, так и распределенные по длине стержня, а также статическая осевая сила;
- учитывается сдвиг сечений;
- инерция поворота поперечных сечений не учитывается, т.к. длина стержней значительно превосходит наибольшие диаметры их поперечных сечений.

Алгоритм расчета состоит в следующем: методом начальных параметров находится общее решение для колебаний стержня, нагруженного продольной статической силой, откуда получаются матрицы функций влияния, с помощью которых составляется выражение для краевых значений изгибающих моментов и перерезывающих сил в начале и в конце каждого стержня через значения прогибов и углов поворота. Каждый стержень рассматривается в местной системе координат, где ось ОХ направлена вдоль стержня от его начала к концу.

Далее выписывается условие равновесия узлов, которые образуют систему линейных уравнений относительно узловых перемещений. Находится решение этой системы и по найденным деформациям определяются значения изгибающих моментов и перерезывающих сил в начале и в конце каждого стержня.

Алгоритм изложен в матричном виде, что позволяет наблюдать абсолютную идентичность в расчетах стержня, плоской и пространственной рамы, так как в этом виде формулы метода перемещений и условие равновесия узлов одинаковы. Отличие имеет лишь внутреннее содержание матриц, но внешнее их сходство дает основание на составление единого алгоритма и программы. Кроме того, матрицы для одиночного стержня и плоской рамы получаются из матриц пространственной конструкции путем вычеркивания соответствующих строк и столбцов.

Формулы, выражающие зависимость между краевыми усилиями и узловыми перемещениями в общем случае для пространственной рамы, на стержни которой действует внешняя гармоническая нагрузка, состоящая из сосредоточенных сил, изгибающих моментов и распределенной на некотором участке нагрузки, имеют вид:

$$M^H_{yi} = A_{iy} \varphi^H_i + C_{iy} U^H_{zi} + B_{iy} \varphi^K_i - D_{iy} U^K_{zi} + \frac{D_{iy} l_i}{q_{iy}} \left[W^K \right]_{iy} - \frac{B_{iy}}{q_{iy}} \left[V^K \right]_{iy},$$

$$Q^H_{zi} = C_{iy} \varphi^H_i + K_{iy} U^H_{zi} + D_{iy} \varphi^K_i - H_{iy} U^K_{zi} + \frac{H_{iy} l_i}{q_{iy}} \left[W^K \right]_{iy} + \frac{D_{iy}}{q_{iy}} \left[V^K \right]_{iy},$$

$$N^H_i = \frac{E_i F_i}{l_i} \left(U^H_{xi} - U^K_{xi} \right),$$

$$M^H_{zi} = A_{iz} \psi^H_i + C_{iz} U^H_{yi} + B_{iz} \psi^K_i + D_{iz} U^K_{yi} + \frac{D_{iz} l_i}{q_{iz}} \left[W^K \right]_{iz} - \frac{B_{iz}}{q_{iz}} \left[V^K \right]_{iz},$$

$$Q^H_{yi} = C_{iz} \psi^H_i + K_{iz} U^H_{yi} + D_{iz} \psi^K_i - H_{iz} U^K_{yi} + \frac{H_{iz} l_i}{q_{iz}} \left[W^K \right]_{iz} - \frac{D_{iz}}{q_{iz}} \left[V^K \right]_{iz},$$

$$M^K_{yi} = B_{iy} \varphi^H_i - D_{iy} U^H_{zi} + A_{iy} \varphi^K_i - C_{iy} U^K_{zi} - \frac{D_{iy} l_i}{q_{iy}} \left[W^H \right]_{iy} + \frac{B_{iy}}{q_{iy}} \left[V^H \right]_{iy},$$

$$Q^K_{zi} = -D_{iy} \varphi^H_i - H_{iy} U^H_{zi} - C_{iy} \varphi^K_i + K_{iy} U^K_{zi} - \frac{H_{iy} l_i}{q_{iy}} \left[W^H \right]_{iy} - \frac{D_{iy}}{q_{iy}} \left[V^H \right]_{iy},$$

$$N^K_i = \frac{E_i F_i}{l_i} \left(U^H_{xi} - U^K_{xi} \right),$$

$$M^K_{zi} = B_{iz} \psi^H_i + D_{iz} U^H_{yi} + A_{iz} \psi^K_i - C_{iz} U^K_{yi} - \frac{D_{iz} l_i}{q_{iz}} \left[W^H \right]_{iz} + \frac{B_{iz}}{q_{iz}} \left[V^H \right]_{iz},$$

$$Q_{yi}^K = -D_{iz} \psi_i^H - H_{iz} U_{yi}^H - C_{iz} \psi_i^K + K_{iz} U_{yi}^K + \frac{H_{iz} l_i}{q_{iz}} \left[W^H \right]_{iz} - \frac{D_{iz}}{q_{iz}} \left[V^H \right]_{iz}$$

где ψ , ϕ - угловые перемещения относительно координатных осей OY и OZ;

$[U]$, $[V]$, $[W]$ - члены, учитывающие влияние внешних нагрузок на каждый стержень относительно координатных осей X, Y, Z;

M_{yi}^H , M_{yi}^K , M_{zi}^H , M_{zi}^K , Q_{yi}^H , Q_{yi}^K , Q_{zi}^H , Q_{zi}^K , N_i^H , N_i^K , - внутренние усилия в начале и в конце стержня от действия жевательной внешней нагрузки;

U_{xi} , U_{yi} , U_{zi} - линейные перемещения стержня вдоль координатных осей X, Y, Z;

A, B, C, D, H, K - коэффициенты, вычисляемые через функции влияния, которые зависят от вида внешней нагрузки, вида возникающих деформаций и целого ряда других факторов.

- q - жесткость стержня на изгиб;

- E - модуль нормальной упругости;

- F - площадь поперечного сечения стержня;

- G - модуль сдвига;

- l - длина стержня;

- j_{пр} - приведенный момент инерции сечения стержня.

Формулы для определения $[W^H]$, $[W^K]$, $[V^H]$, $[V^K]$, A, B, C, D, H, K для каждого конкретного случая нагружения стержней в работе "Алгоритмы и программы плоских и пространственных систем".

Приведенные выше формулы в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} RiH \\ BiH \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AiH \\ riH \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} RiK \\ BiK \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} TiH \\ TiK \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} RiK \\ BiK \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AiK \\ riK \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} RiH \\ BiH \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} TiK \\ TiH \end{bmatrix},$$

где

$$\begin{bmatrix} RiH \\ BiH \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{yi}^H \\ Q_{zi}^H \\ N_i^H \\ M_{zi}^H \\ Q_{yi}^H \\ M_{xi}^H \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} RiK \\ BiK \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{yi}^K \\ Q_{zi}^K \\ N_i^K \\ M_{zi}^K \\ Q_{yi}^K \\ M_{xi}^K \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} riH \\ riK \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_i^H \\ \psi_i^H \\ \theta_i^H \\ U_{xi}^H \\ U_{yi}^H \\ U_{zi}^H \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} riK \\ riH \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_i^K \\ \psi_i^K \\ \theta_i^K \\ U_{xi}^K \\ U_{yi}^K \\ U_{zi}^K \end{bmatrix},$$

$$|AiH| = \begin{bmatrix} A_{iy} & C_{iy} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ C_{iy} & K_{iy} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & E_i F_i / i_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & A_{iz} & C_{iz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{iz} & K_{iz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G_i J_{np} / i_i \end{bmatrix},$$

$$|AiK| = \begin{bmatrix} A_{iy} & -C_{iy} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -C_{iy} & K_{iy} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & E_i F_i / i_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & A_{iz} & -C_{iz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -C_{iz} & K_{iz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G_i J_{np} / i_i \end{bmatrix},$$

$$|BiH| = \begin{bmatrix} -B_{iy} & D_{iy} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -D_{iy} & H_{iy} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & E_i F_i / i_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -B_{iz} & D_{iz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -D_{iz} & H_{iz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G_i J_{np} / i_i \end{bmatrix},$$

$$|BiK| = \begin{bmatrix} -B_{iy} & -D_{iy} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ D_{iy} & H_{iy} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & E_i F_i / i_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -B_{iz} & -D_{iz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & D_{iz} & H_{iz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G_i J_{np} / i_i \end{bmatrix},$$

$$|TiH| = \begin{bmatrix} [V^K]_{iy} \cdot 1 / q_{iy} \\ [W^K]_{iy} \cdot i_i / q_{iy} \\ 0 \\ [V^K]_{iz} \cdot 1 / q_{iz} \\ [W^K]_{iz} \cdot i_i / q_{iy} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad |TiK| = \begin{bmatrix} -[V^K]_{iy} \cdot 1 / q_{iy} \\ [W^K]_{iy} \cdot i_i / q_{iy} \\ 0 \\ -[V^K]_{iz} \cdot 1 / q_{iz} \\ [W^K]_{iz} \cdot i_i / q_{iz} \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Выше описанный алгоритм, как уже указывалось, дан в предложении, что стержень рассматривается в местной системе координат, т.е. в системе координат OXYZ, связанной со стержнем. Для перехода от местной системы координат к единой OX*Y*Z* необходимо выполнить линейное преобразование рассмотренных выше уравнений с матрицей направляющих косинусов.

Условие равновесия каждого j -го узла рамы ($j = 1.2.3...., n$), который является началом m^H и концом m^R стержней в матричной форме в единой системе координат, имеет вид:

$$\sum |R_i^{*H}| + \sum |R_i^{*K}| = |P_j^*|,$$

где $*$ - символ матрицы элементов относительно единой системы координат;

$|P_j^*|$ - матрица-столбец внешних нагрузок, приложенных в j -ом узле.

Если стержневая система имеет n узлов, то условия равновесия, указанные выше, образуют систему $6n$ линейных уравнений относительно $6n$ неизвестных. Решением этой системы определяются внутренние усилия, перемещения и углы поворота всех узлов конструкции в единой системе координат. Далее легко перейти к местной системе координат.

Таким образом, получен обобщенный алгоритм, позволяющий проводить анализ напряженно-деформированного состояния и частот собственных колебаний плоских и пространственных стержневых систем. Данный алгоритм апробирован при решении задач прочности различных конструкций приборов и систем машиностроительного профиля. Однако он может быть эффективно использован при исследовании биомеханических систем и в частности при анализе биомеханики остеосинтеза переломов стержневыми аппаратами внешней фиксации и пластинами ТХР.

1. Кормилицын О.П., Санкин Ю.Н., Малышев Ю.Н. Алгоритмы и программы анализа плоских и пространственных стержневых систем. М: ЦНТИ «Поиск», 1981

Негодяев В.О., Роганов Д.Л., Балякин А.В.
Конструкция коаксиальных сопловых головок

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика
С.П. Королева
(Россия, Самара)*

doi: 10.18411/lj-01-2021-61

idsp: ljjournal-01-2021-61

Аннотация

Проведен обзор существующих методов и систем формирования газопорошковых потоков, используемых в лазерных технологических установках прямого лазерного сплавления. Проанализированы тенденции развития и требования к инновационным технологиям в современном авиационном двигателестроении. Также рассмотрены технологии селективного лазерного плавления/спекания. Объектом изучения была выбрана перспективная инновационная технология прямого лазерного выращивания. Детально рассмотрена конструкция коаксиальных головок для прямого лазерного сплавления. Также были изучены и проанализированы другие виды сопловых головок, взвешены все плюсы и минусы каждого из видов. Проведен обзор существующих методов и систем формирования газопорошковых потоков, используемых в лазерных технологических установках.

Ключевые слова: аддитивные технологии, прямое лазерное выращивание, сопловые головки, коаксиальное сопло, конструкция.

Abstract

A review of existing methods and systems for forming gas-powder flows used in laser processing plants for direct laser fusion is carried out. The article analyzes the development trends and requirements for innovative technologies in modern aircraft engine building. Selective laser melting/sintering technologies are also considered. The object of study was a promising innovative technology of direct laser growth. The design of coaxial heads for direct laser fusion is considered in detail. Other types of nozzle heads were also studied and analyzed, and all the pros and cons of each type were weighed. The review of existing methods and systems for forming gas-powder flows used in laser technological installations is carried out.

Keywords: additive technologies, direct laser growing, nozzle heads, coaxial nozzle, design.