

**ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ  
С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ**

© 2020 Д. Н. Козлова, А. П. Преображенский, В. В. Шушулина

*Воронежский институт высоких технологий (Воронеж, Россия)*

*В статье рассматриваются возможности решения задачи в ходе моделирования стержневых систем.*

*Ключевые слова: сопротивление материалов, стержневая система, деформация.*

При решении различных практических задач, сформированных из заданных материалов, исследователям и проектировщикам систем приходится применять определенные приближения. Например, достаточно распространенными в твердотельном моделировании являются стержневые системы [1, 2].

Создаются они при помощи простейших элементов, которые представляются в виде стержней.

В ряде случаев основными видами деформирования подобных систем считают растяжение и сжатие.<sup>1</sup>

Тогда для поперечных сечений стержневых конструкций будут появляться лишь нормальные силы. Они связаны для данного сечения конструкции с алгебраическими суммами проекций по всем нагрузкам, которые будут лежать только с какой-то из сторон сечения [3, 4].

Расчет нормального напряжения для стержневой конструкции проводится на основе формулы:

$$\sigma = N/F. (1)$$

В указанной формуле (1) нормальную силу по сечению стержня мы обозначили как  $N$ , а для площади поперечного сечения стержневой конструкции мы ввели обозначение  $F$ .

Существует классификация стержневых систем. Их подразделяют на те, которые можно статически определить и нельзя статически определить.

В первом случае с привлечением метода сечений и уровней равновесия мы имеем возможности для определения реакций связей и нормальных сил. Во втором случае отмеченных закономерностей нельзя считать достаточным.

Существует статическая неопределенность, которая рассматривается в виде разницы между числом неизвестных и числом доступных для анализа уравнений [5, 6].

Тогда исследователям приходится прибегать к рассмотрению развернутого закона Гука. Помимо этого, может потребоваться анализ геометрических особенностей деформаций систем.

Поскольку второй отмеченный случай, с точки зрения практики, является более сложным, укажем основные шаги, связанные с тем, как раскрываются статическая неопределенность.

Связи будут отброшены. На основе метода сечений будет осуществляться замена связей на неизвестные реакции и усилия.

Происходит формирование независимых уравнений статики. За счет них можно определить степень статической неопределенности в системах. Мы исходим из того, что в уравнения будет входить множество известных усилий [7, 8].

Проводится анализ системы, которая будет переведена к деформированному состоянию.

Происходит формирование уравнений совместности перемещений. Среди перемещений отдельных компонентов и деформациями осуществляется установление связей [9].

Применяется закон Гука для того, чтобы определить абсолютные удлинения стержней.

Они будут входить в уравнения совместности перемещений. В ходе решения анализируют действующие усилия. Как ре-

---

Козлова Дарья Николаевна – Воронежский институт высоких технологий, студент, kozl99daryanik@yandex.ru.  
Преображенский Андрей Петрович – Воронежский институт высоких технологий, доктор техн. наук, профессор, apr@vivt.ru.  
Шушулина Виктория Владимировна – Воронежский институт высоких технологий, студент, shunul33vuv@yandex.ru.

зультат мы приходим к уравнениям, в которых будут неизвестные усилия.

Определение неизвестных усилий происходит за счет решения системы уравнений.

Это уравнения совместности перемещений и статики.

На рисунке 1 приведена иллюстрация стержневой системы. На эту систему будет

действовать продольная сила  $F_p$ . Рассмотрим особенности решения задачи, связанной с определением перемещения анализируемой ступенчатой стержневой конструкции.

На первом этапе по выбранным сечениям мы проведем анализ нормальных сил.

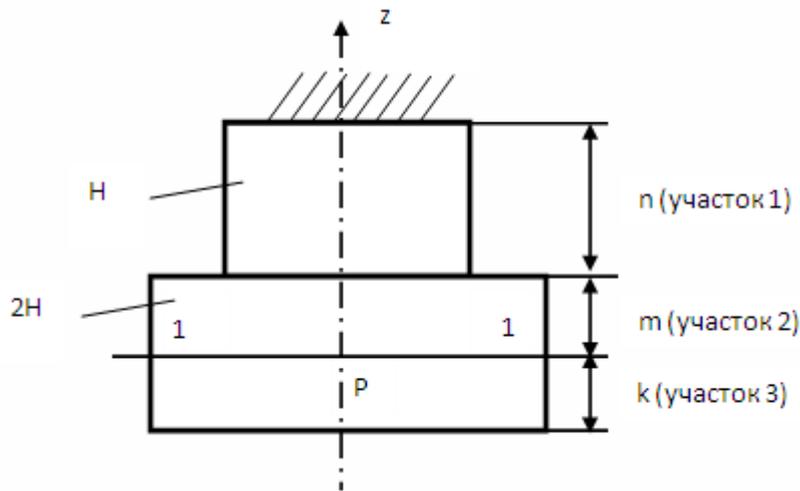


Рисунок 1. Иллюстрация стержневой системы

В стержневой конструкции мы выделим несколько участков.

В данном случае их три. Объяснить это можно тем, что сечения рассматриваются в виде границ участков, для которых осуществляется приложение сосредоточенных сил.

Кроме того, видно, что есть в геометрии поперечного сечения разное изменение.

Меняется и интенсивность распределенной нагрузки.

Для первого участка нормальное напряжение записывается в виде:

$$N^{(1)} = 2 * \alpha * H * z_1, \quad (2)$$

где  $0 \leq z_1 \leq K$ .

Для второго и третьего участков мы применяем метод сечения. Получаем уравнения

$$N^{(2)} = F_p + 2\alpha H z_2, K \leq z_2 \leq K + m, (3)$$

$$N^{(3)} = F_p + 2\alpha H(K + m) + \alpha H(z_3 - K - m) = F_p + \alpha H(z_3 + K + m), K \leq z_3 \leq K + m$$

Затем мы можем определить значение перемещения сечения 1-1 стержня  $\Delta L$ . Видно, что оно соответствует сумме абсолют-

ных удлинений, соответствующих второму и третьему участку в анализируемой стержневой конструкции.

$$\begin{aligned} \Delta L &= \Delta L_2 + \Delta L_3 = \int_K^{K+m} \frac{(F_p + 2\alpha H z) dz}{2EH} + \\ &\int_{K+m}^{K+m+n} \frac{(F_p + 2\alpha H(z + K + m)) dz}{2EH} = \\ &= \frac{1}{EH} \left( F_p \left( \frac{m}{2} + n \right) + \alpha H \left( \frac{m^2}{2} + \frac{n^2}{2} + km + 2kn + 2mn \right) \right). \end{aligned}$$

На рисунке 2 показана зависимость сечения 1-1 стержня от размера  $m$ .

Параметры были выбраны следующие:  
 $E=1.9 \cdot 10^5$  МПа,  $\alpha=7.9 \cdot 10^4$  Н/м,  
 $F_p=900$ Н,  $H=1.4 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>,  $k=1$  м.

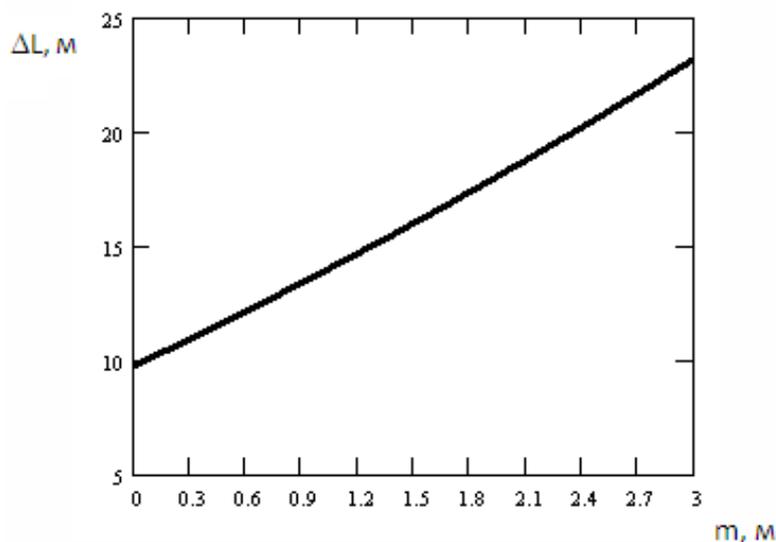


Рисунок 2. Зависимость сечения 1-1 стержневой системы от одного из размеров

Таким образом, в работе показаны возможности определения характеристик стержневых систем на основе комбинации

уравнений статики и развернутого закона Гука.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов В. Н. О динамической реакции плоских стержневых систем, которые воспринимают ударную нагрузку / В. Н. Фролов // Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций. Сборник научных трудов 3-й Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. Курск. – 2020. – С. 206-208.

2. Цепковская Т. А. О динамической реакции плоских стержневых систем, воспринимающих ударную нагрузку / Т. А. Цепковская // Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций. Сборник научных трудов 3-й Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. Курск. – 2020. – С. 220-222.

3. Скалон А. И. Механика. Сопротивление материалов / А. И. Скалон, О. В. Опалихина: учебное пособие / Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. Санкт-Петербург. – 2011. – 64 с.

4. Логвинов В. Б. Справочные материалы к расчетно-проектировочным работам по сопротивлению материалов, строительной и прикладной механике / В. Б. Логвинов,

С. И. Евтушенко, О. К. Казначеева, И. А. Петров // Новочеркасск. – 2016. – 60 с.

5. Львович И. Я. Некоторые вопросы пластичности материалов, применяемых на практике / И. Я. Львович // Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций. Сборник научных трудов 3-й Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. Курск. – 2020. – С. 129-131.

6. Львович И. Я. Об оценке механических характеристик строительных материалов / И. Я. Львович // Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций. Сборник научных трудов 3-й Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. Курск. – 2020. – С. 131-133.

7. Преображенский Ю. П. Современные методы анализа прогрессирующего разрушения в конструкциях из композиционных строительных материалов / Ю. П. Преображенский // Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций. Сборник научных трудов 3-й Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. Курск. – 2020. – С. 167-169.

8. Федорков Е. Д. Исследование процесса накопления энергии в металлах при

пластическом деформировании и разрушении / Е. Д. Федорков // Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций. Сборник научных трудов 3-й Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. Курск. – 2020. – С. 197-200.

9. Альтварг М. С. О характеристиках прочности строительных материалов / М. С. Альтварг // Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций. Сборник научных трудов 3-й Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. Курск. – 2020. – С. 20-22.

## **ABOUT THE SPECIFIC FEATURES OF THE SOLUTION OF PROBLEMS RELATED TO DETERMINING THE CHARACTERISTICS OF ROD SYSTEMS**

© 2020 *D. N. Kozlova, A. P. Preobrazhenskiy, V. V. Shunulina*

*Voronezh Institute of High Technologies (Voronezh, Russia)*

*The paper discusses the possibilities of solving in the course of modeling rod systems.*

*Keywords: resistance of materials, rod system, deformation.*