

УДК 624.04

Д.В.Климшин (соиск., каф. МПУ), А.И.Боровков, к.т.н., проф.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЬНОГО КАНАТА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ И МНОЖЕСТВЕННОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Стальной канат как гибкий элемент, способный нести высокую растягивающую нагрузку, широко применяется в современной подъемно-транспортной технике. Основными проблемами, возникающими в процессе математического моделирования канатных конструкций, являются их сложная микроструктура (отдельные канаты имеют до 400 проволок-нитей) и множественное пространственное (3-D) контактное взаимодействие между проволоками в прядях. Анализ работ [1,2], а также специальной литературы, показывает, что расчет стальных канатов обычно проводится по упрощенным методам, основанным на анализе поведения каждой проволоки отдельно.

Целью работы является разработка методики конечно-элементного (КЭ) вычисления эффективных (обобщенных, агрегатных, макроскопических) коэффициентов жесткости каната на основе применения разработанных ранее методов гомогенизации в механике композитных структур [3], детального моделирования микроструктуры каната и множественного 3-D контактного взаимодействия между проволоками.

Осреднённое осевое усилие и осреднённый крутящий момент в поперечном сечении каната запишем через осреднённые деформации следующим образом:

$$\begin{cases} \langle T \rangle = A^* \langle \varepsilon \rangle + C^* \langle \theta \rangle \\ \langle M \rangle = C^* \langle \varepsilon \rangle + B^* \langle \theta \rangle \end{cases},$$

где A^* – обобщенная жесткость каната при растяжении; B^* – обобщенная жесткость каната при кручении; C^* – обобщенный коэффициент влияния.

Для определения эффективных коэффициентов жесткости впервые в инженерной практике разработана пространственная КЭ модель стального спирального каната, содержащая 18 проволок, закрученных вокруг центральной. Радиусы всех проволок составляют 1.4 мм, углы свивки – $\alpha = 13^\circ$. Материал – сталь: модуль Юнга $E = 210$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$. С помощью программной системы конечно-элементного анализа *LS-DYNA* [4, 5] в динамической постановке решены следующие модельные задачи: задача о чистом растяжении каната (без кручения) для определения коэффициента A^* , задача о чистом кручении каната (без растяжения) – для определения коэффициента B^* и задача о свободном кручении каната – для определения коэффициента C^* . Пространственная КЭ модель каната, учитывающая множественное 3-D контактное взаимодействие между соседними проволоками, а также постановки модельных задач представлены на рис. 1.

Результаты КЭ исследований показывают, что на первом этапе деформирования троса происходит уменьшение зазоров между соседними проволоками, которое приводит к обжатию троса. На втором этапе деформирования (этап вычисления эффективных коэффициентов жесткости) реализуется удлинение и/или кручение троса. График удлинения троса при чистом растяжении, а также зоны обжатия и определения коэффициента A представлены на рис. 2, где A^* – экспериментальное значение [3]. График удлинения троса при чистом кручении, а также зоны обжатия и определения коэффициента B представлены

на рис. 3, где B^* – экспериментальное значение коэффициента [3].

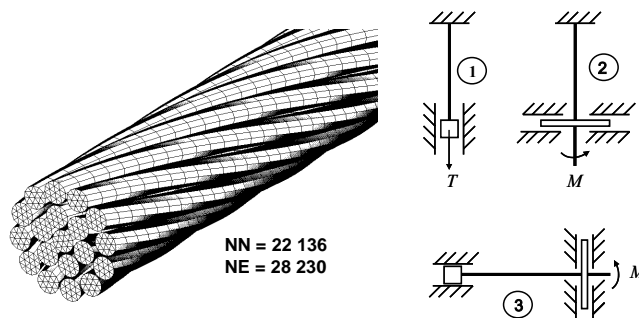


Рис. 1. Конечно-элементная модель стального спирального каната 1+6+12 и постановки модельных задач.

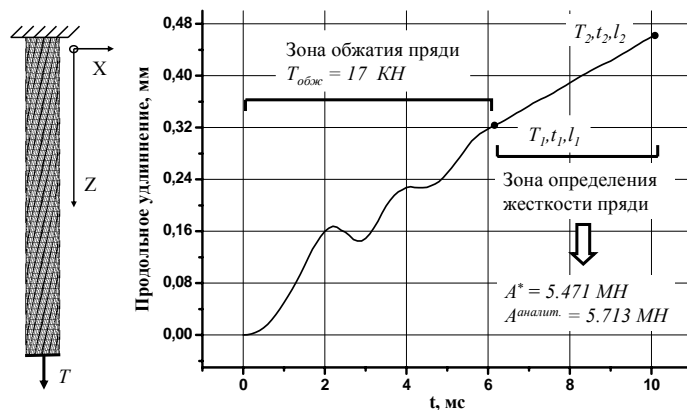


Рис. 2. График удлинения троса при чистом растяжении.

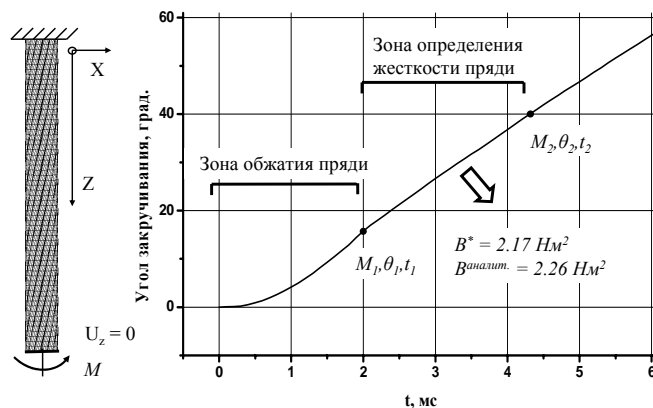


Рис. 3. График угла закручивания троса при чистом кручении.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты – Киев: Техника, 1996.
2. Сергеев С.Т. Надежность и долговечность подъемных канатов – Киев: Техника, 1968.
3. Боровков А.И. Эффективные физико-механические свойства волокнистых композитов – М.: Изд-во ВИНТИ. 1985. 113 с.
4. Hallquist J.O. LS-DYNA. Theoretical Manual. Livermore Software Technology Corporation, USA, 1998.
5. LS-DYNA User's Manual. Livermore Software Technology Corporation, USA, 2001.