

УДК 539.3

О.В.Антонова (асп., каф. МПУ), А.С.Немов (асп., каф. МПУ), И.Б.Войнов (асп., каф. МПУ),
П.С.Гончаров (соиск., каф. МПУ), А.И.Боровков, к.т.н., проф.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ КАНАТОВ. СРАВНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ ABAQUS, LS-DYNA, MSC.MARC

Стальные канаты, способные нести высокую растягивающую нагрузку, широко применяются в различных отраслях современной промышленности.

В настоящее время имеется большое разнообразие конструкций канатов, однако по принципу построения они сводятся к нескольким основным конструктивным формам. Канаты различаются прежде всего порядком их свивки [1]. К примеру, проволоки могут быть свиты между собой один раз, что приводит к образованию так называемого спирального каната. Затем эти спиральные канаты (пряди) могут быть свиты снова в канат, в результате будет получен канат двойной свивки.

В работе определены эффективные характеристики для спирального каната и каната двойной свивки. Проведено сравнение трёх программных систем конечно-элементного (КЭ) анализа ABAQUS, LS-DYNA, MSC.MARC.

Обобщённые уравнения статики канатов записываются следующим образом [1]:

$$\begin{cases} A \cdot \varepsilon + C \cdot \Theta = T \\ C \cdot \varepsilon + B \cdot \Theta = M \end{cases}$$

где T и M — приложенная сила и момент соответственно, ε и Θ — деформации на растяжение и кручение соответственно, A , B и C — эффективные коэффициенты жёсткости каната. Причём коэффициент A характеризует жёсткость каната на растяжение, B — жёсткость каната на кручение, C — коэффициент влияния.

Для определения эффективных коэффициентов жёсткости разработаны пространственные (3-D) КЭ модели спирального каната и каната двойной свивки, представленные на рис. 1 и рис. 2. Данные модели учитывают множественное 3-D контактное взаимодействие между нитями каната.

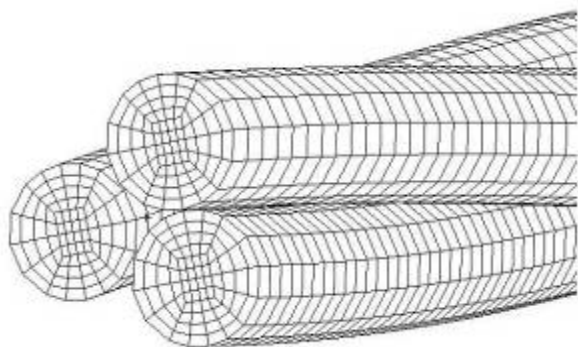


Рис. 1. Фрагмент 3-D КЭ модели спирального каната

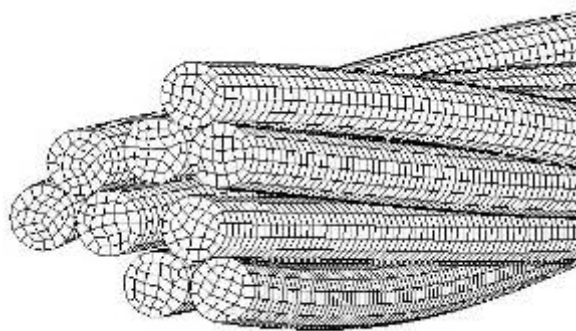


Рис. 2. Фрагмент 3-D КЭ модели каната двойной свивки

Для определения эффективных коэффициентов жёсткости канатов были решены три статические нелинейные задачи: растяжение каната, кручение каната и совместная задача на растяжение и кручение. Необходимо отметить, что для определения эффективных коэффициентов жёсткости канатов в системах ABAQUS и LS-DYNA решены задачи о динамическом поведении каната, в то время как реализованные в системе MSC.Marc возможности решения задач с множественным контактным взаимодействием позволяют решать статические задачи с помощью неявного решателя, сокращая время вычислений в

разы. Результаты решения описанных выше задач представлены на графиках зависимости "перемещение–сила" (рис. 3, 4). В табл. 1 представлены результаты сравнения коэффициента жёсткости A с аналитическими оценками.

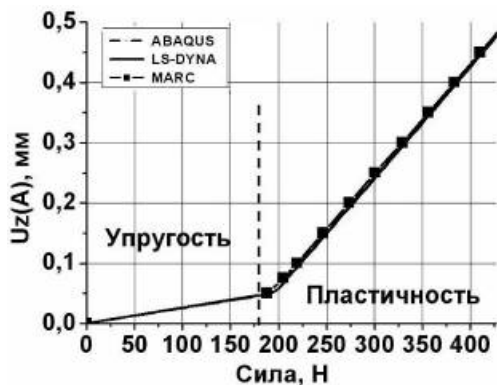


Рис. 3. График "перемещение–сила" (растяжение спирального каната)

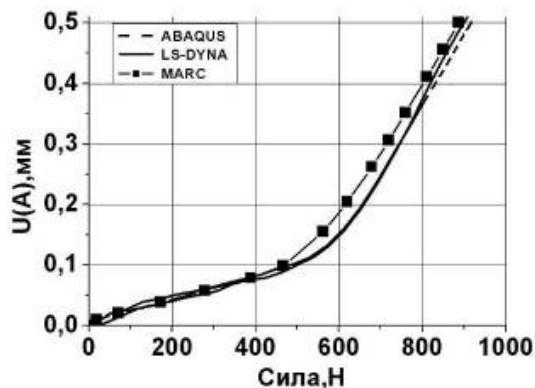


Рис. 4. График "перемещение–сила" (растяжение каната двойной свивки)

Таблица 1.

Число прядей каната	A^{FE} , кН	$A^{АНАЛИТ}$, кН	δ , %
3 (спиральный канат)	179.5	180.8	0.78
9 (канат двойной свивки)	475.5	538	11.6

Анализируя приведённые выше графики и таблицу, можно сделать выводы, что результаты, полученные при помощи систем КЭ анализа ABAQUS, LS-DYNA, MSC.MARC с высокой точностью совпадают с аналитическими оценками для спирального каната. Для каната двойной свивки существуют только приближенные оценки [1], которые позволяют найти эффективные коэффициенты жёсткости с погрешностью более 10%. Моделирование и расчет с использованием метода КЭ в системах ABAQUS, LS-DYNA, MSC.MARC позволяют получить эффективные коэффициенты жёсткости для канатов любого порядка. Преимуществом применения программного комплекса MSC.MARC можно считать возможность для определения эффективных коэффициентов жёсткости тросов решать статические задачи, что позволяет существенно сократить время расчёта (в ходе данных исследований выигрыш по времени вычислений достигал 5 раз).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Глушко М.Ф. Стальные подъёмные канаты - Киев: Техника, 1966.
2. Сергеев С.Т. Надёжность и долговечность подъёмных канатов - Киев: Техника, 1968.