

Экспериментально-расчетное определение динамических параметров растягиваемых тросов

© Д.Е. Решетников, А.Н. Кожевников, К.А. Матвеев

Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, 630073, Российская Федерация

Представлено численно-экспериментальное исследование частот собственных колебаний стального троса при разных уровнях растягивающего усилия. Для проведения расчетов была использована модель поперечных колебаний струны, а также были разработаны несколько стендов для измерения усилия натяжения и частот собственных колебаний троса. Экспериментальным путем были оценены потери на трение в спроектированном кронштейне стенда при отслеживании натяжения троса по обе стороны от кронштейна. Исследование по определению динамических параметров троса разной конфигурации «длина–тяжение» осуществлялось на испытательных стендах. После выполнения сравнительного анализа полученного экспериментально и расчетного спектров частот малых колебаний стального троса был сделан вывод о возможности определения уровней растягивающего усилия в тросе по измеренным значениям частот собственных колебаний.

Ключевые слова: *стальной трос, малые колебания, формы собственных колебаний, испытательный стенд, Mathcad, SolidWorks, анализатор спектра частот башенного типа «ЛЭПТОН-1»*

Введение. Выявление уровня натяжения упругого троса в различных конструкциях как после первоначального монтажа, так и в процессе их последующей эксплуатации является актуальной задачей. Например, ее решение требуется при разработке конструкций воздушных линий (ВЛ) электропередачи, так как для обеспечения устойчивости и жесткости опор ВЛ зачастую используются натянутые упругие элементы — оттяжки. Один из способов определения растягивающего усилия в подобных задачах — идентификация параметров состояния системы по ее экспериментально определенным динамическим параметрам: значениям частот, формам и декрементам собственных колебаний конструкции.

За последние тридцать лет проведен ряд исследований, посвященных методам определения динамических параметров различных конструкций, в частности, методам диагностики технического состояния мостов по динамическим параметрам [1]. Способы решения рассматриваемой задачи различны по методам проведения, алгоритмам обработки данных, анализируемым динамическим параметрам и пр. Например, существуют методы определения технического состояния на основе анализа частот и форм собственных колебаний, однако для их реализации необходимо большое количество датчиков. Следует

заметить, что за рубежом, к примеру, распространена диагностика мостов по динамическим параметрам [2, 3].

Цель данной работы — установить зависимость между растягивающими усилиями в тросовых упругих элементах и экспериментально определенными частотами собственных колебаний.

Аналитические подходы. Непосредственно задача о малых колебаниях натянутого троса или оттяжки соответствует математической задаче о поперечных колебаниях струны. Эта задача считается классической, решаемой с использованием уравнений математической физики, она достаточно подробно рассмотрена в разных изданиях, и поэтому известны конечные выражения для определения значений частот собственных колебаний такой конструкции. При схематизации троса в виде струны при расчете следует учитывать только площадь поперечного сечения, поскольку струнная модель (рис. 1) не обладает изгибной жесткостью, а также не сопротивляется скручиванию.



Рис. 1. Схема струнной модели троса

Колебания струны описываются известным дифференциальным уравнением и собственным набором краевых условий [4]. Выражение для круговых частот собственных колебаний струны ω имеет вид [5, 6]

$$\omega_n = \frac{\pi n}{L} \sqrt{\frac{T}{\rho}}, \quad (1)$$

где n — номер формы колебаний; T — растягивающее усилие, Н; L — длина струны, м; ρ — погонная плотность, кг/м.

Значения этих частот получены путем расчета по формуле (1) и делением на 2π радиан. Определенный спектр частот собственных колебаний троса DIN 3035 длиной 5,562 м при действии нагрузки 90 кгс приведен ниже:

Номер частоты	Частота, Гц
1	7,524
2	15,048
3	22,571
4	30,095
5	37,619

Полученные значения частоты колебаний пропорциональны ее номеру, что характерно для струнной расчетной модели. Следует заметить, что в экспериментальной части работы можно ожидать схожих результатов.

Экспериментальный анализ. Для экспериментального модального анализа был разработан специальный испытательный стенд, в состав которого входят стойка с кронштейном для троса [7], динамометр для фиксирования натяжения и стяжная муфта для создания переменного тяжения в конструкции. Кронштейн для троса (рис. 2), спроектированный в среде SolidWorks, был изготовлен с нуля.

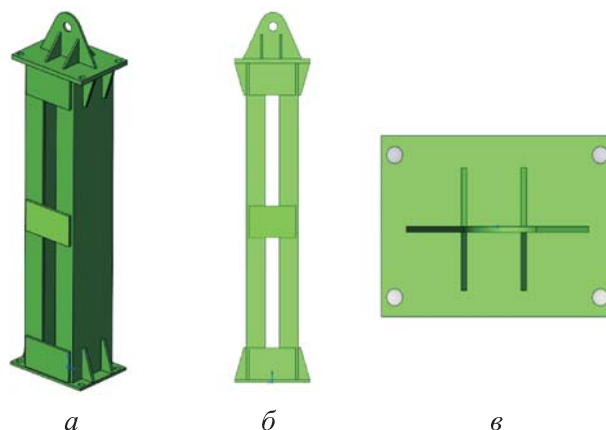


Рис. 2. Выполненная в среде SolidWorks 3D-модель стойки стенда:
а — общий вид; б — вид спереди; в — вид сверху

В проектировочный расчет входило определение напряженно-деформированного состояния стойки и самого кронштейна при предполагаемом характере нагружения в проушине. В связи с тем что ожидаются сжимающие нагрузки, дополнительно было проведено исследование устойчивости вертикальной колонны стенда. Определенные коэффициенты запаса прочности превысили 67, а для устойчивости был получен запас не менее 1,2.

На первом шаге исследования был создан стенд следующей конфигурации: трос, пропущенный через кронштейн на стойке, закреплялся с двух сторон от нее к силовому полу лаборатории. В каждой из частей стенда был размещен динамометр для измерения разницы между тяжением троса по обе стороны от кронштейна при постепенном повышении нагрузки в одной из частей стенда в диапазоне 50...250 кгс с постоянным шагом, равным 50 кгс.

Такое испытание проводилось с целью оценки потерь на трение в кронштейне стенда. Возможность получить достоверные значения потерь усилия позволила бы исключить из экспериментальной установки второй динамометр, что повысило бы точность испытания. Оценка разницы в показаниях динамометров по обе стороны от стойки стенда, полученная путем эксперимента, приведена ниже: