

УДК 539.3

**РАСЧЕТ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК НАТЯНУТОГО СТАЛЬНОГО ТРОСА С
ОЦЕНКОЙ КАЧЕСТВА ЕГО МАТЕРИАЛА**

Студентка гр. 103819 Шишко М.А.

Научный руководитель – докт. физ.-мат. наук, проф. Василевич Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Стальные тросы широко используются в различных отраслях человеческой деятельности. С их помощью транспортируют грузы, опускаются на большие глубины и поднимаются высоко в горы. Канаты удерживают ответственные элементы строительных конструкций, пролеты мостов, морские нефтедобывающие платформы, мачты антенн. Массово тросы используются в составе подъемных сооружений, таких как краны, лифты, канатные дороги. Также характерным примером применения являются линии воздушных электропередач, провода телеграфных сетей, кабели, подвешенные между двумя неподвижными опорами, и др.

Элементы конструкций, которые используются в качестве канатов и тросов по своим свойствам приближаются к гибким нитям. Гибкой нитью называется тело постоянного поперечного сечения, у которого длина на несколько порядков больше поперечного размера (диаметра). Вследствие большой длины нити способны сопротивляться только растяжению и не могут работать при других видах нагружения: изгибе, сжатии, кручении. Следовательно, единственной внутренней силой в поперечных сечениях нити будут нормальная растягивающая сила. Отсюда происходит название нити – гибкая.

Рассмотрим пологую нить с точками подвеса, расположенными на одном уровне, принимая нагрузку p равномерно распределенной по длине горизонтальной проекции l нити (рис. 1, *a*). Выделим элемент нити OD и рассмотрим его равновесие как равновесие свободного тела (рис. 1, *b*).

Обозначим провисание нити на расстоянии x от начала координат через y .

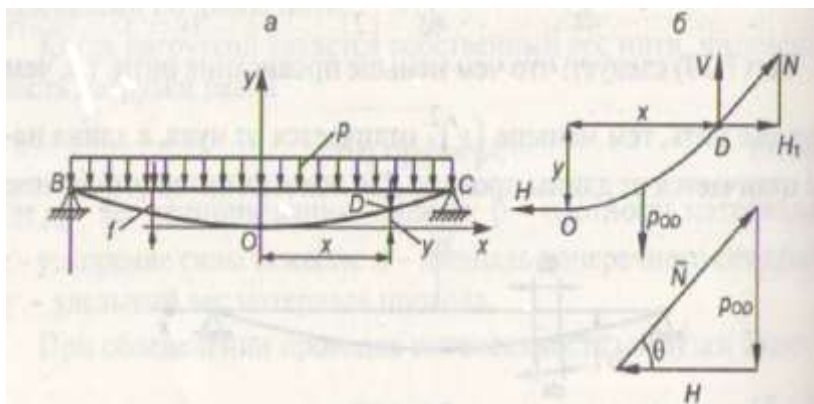


Рис. 1. Равновесное состояние элемента гибкой нити

Элемент нити OD находится в равновесии под действием вертикальной силы p_{OD} , представляющей равнодействующую распределенной нагрузки на участке x и растягивающих усилий H и N , направленных по касательной к кривой провисания. Три силы H , p_{OD} , N образуют замкнутый треугольник, из которого следует, что

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{p_{OD}}{H}. \quad (1)$$

С другой стороны,

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{dx}{dy}. \quad (2)$$

Приравнявая (1) к (2) и учитывая, что $p_{OD} = p \cdot x$, получаем дифференциальное уравнение нити в виде

$$\frac{dx}{dy} = \frac{p \cdot x}{H}. \quad (3)$$

Раскладывая усилие N в точке D на составляющие V и H_1 , из уравнения проекций на ось x , найдем

$$H = H_1 . \quad (4)$$

Таким образом, горизонтальная составляющая растягивающего усилия в любом поперечном сечении нити равна усилию в точке O .

Интегрируя (3) и принимая во внимания, что усилие H не зависит от координаты x и одинаково во всех сечениях нити, а значит,

$\frac{P}{H} = const$, получим

$$y = \frac{P}{2H} x^2 + C . \quad (5)$$

Так как при $x=0$, $y=0$, то произвольная интегрирования $C=0$ и уравнение (3) имеет вид

$$y = \frac{P}{2H} x^2 . \quad (6)$$

Таким образом, при равномерном распределении нагрузки вдоль пролета кривая провисания нити представляет собой участок параболы с вертикальной осью[1].

Усилие H называется горизонтальным натяжением нити. Из силового треугольника (рис. 1) нормальная сила в произвольном сечении нити равна

$$N = \sqrt{H^2 + (px)^2} . \quad (7)$$

Из (7) следует, что наименьшее значение растягивающая нормальная сила N имеет в нижней точке O (при $x=0$), а наибольшее – в сечении подвеса нити (при $x = \pm l/2$).

Подставляя в (6) значение $x = l/2$, получим

$$y_{\max} = f = \frac{p}{2H} \left(\frac{l}{2} \right)^2 = \frac{pl^2}{8H}. \quad (8)$$

Откуда горизонтальное натяжение нити

$$H = \frac{pl^2}{8f}. \quad (9)$$

Наибольшее значение растягивающей нормальной силы N_{\max} определяем по формуле (5)

$$N = \sqrt{H^2 + \frac{p^2 l^2}{4}} = \sqrt{\frac{p^2 l^2}{64f} + \frac{p^2 l^2}{4}} = \frac{pl^2}{8f} \sqrt{\frac{16f^2}{l^2} + 1} = H \sqrt{\frac{16f^2}{l^2} + 1}. \quad (10)$$

Для пологих нитей различие между максимальным и минимальным значениями растягивающего усилия невелико и как показывают расчеты, не превышает 3%.

Отсюда с достаточной для практики точностью можно считать растягивающее усилие в нити постоянным, равным величине горизонтального натяжения H . По величине H производится расчет нити на прочность.

Условие прочности для нити запишется в виде

$$\sigma = \frac{pl^2}{8fA} \leq [\sigma], \quad (11)$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение на растяжение нити.

В зависимости от условий, в которых эксплуатируются стальные тросы, они подвергаются различным видам износа. В процессе эксплуатации они истирается снаружи и изнутри, его проволоки ржавеют, статические и динамические нагрузки вызывают обрывы проволок и прядей. По мере появления этих дефектов прочность каната уменьшается, а риск его эксплуатации увеличивается. Поскольку канаты не подлежат ремонту, установлены предельные нормы бра-

ковки, при достижении которых канат подлежит замене. Критерии и нормы браковки канатов можно разделить на качественные и количественные. К первым относятся: деформации разных типов, повреждения в результате температурного воздействия или электрического дугового разряда, обрыв пряди или сердечника. Количественные критерии (нормы) браковки включают в себя: изменение диаметра каната, поверхностный и внутренний абразивный износ и/или коррозия проволок, уменьшение площади поперечного сечения каната по металлу, количество обрывов наружных и внутренних проволок на определенной длине.

При проверке канатов используют визуальный и магнитные методы неразрушающего контроля. Визуально определяются деформации и нарушения конструкции каната, наличие наружных обрывов проволок, видимых следов температурных воздействий, коррозии и абразивного износа наружных проволок. Очевидно, что визуальный метод контроля субъективен и позволяет определить состояние каната только относительно качественных критериев. Возможности визуального контроля существенно ограничены. С его помощью невозможно обнаружить внутренние обрывы проволок, измерить относительную потерю сечения. Далеко не всегда в процессе визуального контроля можно обнаружить дефекты даже на поверхности каната: канат обычно трудно осмотреть со всех сторон в движении, взгляд оператора «замыливается», и распознать обрыв нелегко. Тем не менее, визуальный контроль дает важную информацию о состоянии каната, а его применение в дополнение к неразрушающему контролю с помощью специальных дефектоскопов значительно повышает достоверность информации о техническом состоянии каната.

Количественные критерии применяют при использовании измерительных инструментов контроля. Так, диаметр канатов и отдельных проволок измеряется инструментами для линейных измерений (штангенциркулем, микрометром)

Для проверки площади поперечного сечения канатов по стали и определения количества обрывов проволок на единицу длины применяется магнитная дефектоскопия канатов по всей доступной контролю длине. Метод магнитной дефектоскопии позволяет получить объективные и документированные данные о потере сечения кана-

та. Неразрушающий контроль стальных канатов выполняют специальными приборами (дефектоскопами) с использованием переменного или постоянного магнитного поля.

При использовании переменного магнитного поля магнитный поток вдоль продольной оси участка контролируемого каната создают посредством возбуждающей индуктивной катушки с переменным током, охватывающей канат. Измерительная катушка также охватывает канат и в ней индуцируется ЭДС, зависящая от площади поперечного сечения каната по металлу. Метод переменного магнитного поля используют, как правило, только для измерения потери сечения каната. Применение приборов с использованием переменного магнитного поля для контроля канатов неэффективно как по причине неудобства использования, так и из-за невозможности обнаруживать локальных дефектов, что очень важно в данном случае.

Метод постоянного магнитного поля используют для измерения потери сечения каната и обнаружения локальных дефектов. Постоянный магнитный поток вдоль продольной оси участка контролируемого каната создают постоянными магнитами или электромагнитами постоянного тока. Общий магнитный поток, создаваемый постоянными магнитами или электромагнитом (часть этого потока), измеряют датчиками Холла либо другими датчиками, пригодными для измерения абсолютного значения магнитного потока или изменений этого потока. Сигнал датчиков зависит от магнитного потока, проходящего через участок контролируемого каната и, следовательно, от поперечного сечения этого участка по металлу.

Локальные дефекты каната, например обрывы проволок, создают вблизи себя магнитные потоки рассеяния, которые регистрируются датчиками Холла, катушками или другими магниточувствительными элементами. Датчик Холла (пластина Холла, рис. 2, *a*) представляет собой прямоугольную пластину из полупроводникового материала (например, арсенида галлия). Преобразователи Холла работают по принципу возникновения ЭДС в результате искривления пути носителей тока в металлах и полупроводниках, находящихся в магнитном поле под действием силы Лоренца [2].

В направлении А–В течет постоянный ток I (управляющий ток). Эффект Холла состоит в том, что при попадании в пластину ло-

кального магнитного поля в ней происходит искривление пути носителей электрических зарядов (т.е. траектории управляющего тока), что вызывает образование разности потенциалов между гранями С и D, т.е. возникновение электродвижущей силы E в цепи индикатора (рис. 2, б). Объект перемещается относительно такой головки, и в случае попадания под нее дефекта на выводах пластины Холла возникает импульс ЭДС, регистрируемый прибором [3].

Сигналы датчиков зависят не только от размеров локальных дефектов, но и от их типа и положения, поэтому определить количественно параметры дефектов обычно затруднительно. Качественный анализ полученной информации о локальных дефектах выполняют по дефектограммам на основании накопленного опыта.

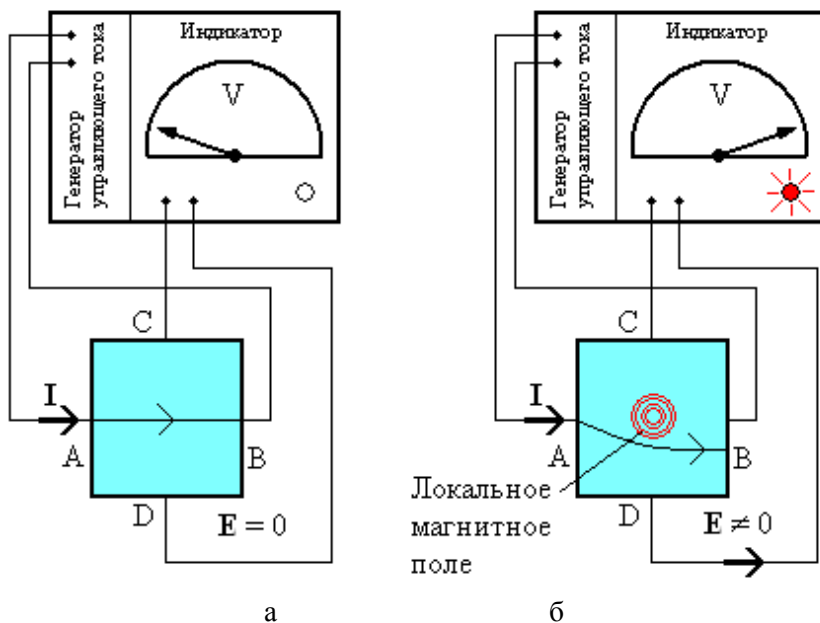


Рис. 2. Принцип действия пластины Холла
 а – магнитное воздействие отсутствует;
 б – влияние локального магнитного поля

Литература

1. Соппротивление материалов: учебник / Подскребко М.Д. – Минск: Выш. шк., 2007.
2. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Клюев В.В., Соснин Ф.Р. и др. – М.: Машиностроение, 2005.
3. НК и диагностика стальных канатов: приборы, методики, эффективность. В мире НК. №1. 2006.

УДК 621.01

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ПЛАСТИНКИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Студент гр. 103012-12 Кот П.И.

Научный руководитель – ст. преп. Луцко Н.Я.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

При выполнении студенческой научно-исследовательской работы был создан программно-вычислительный комплекс, позволяющий исследовать характер колебаний пластинки в магнитном поле.

На пружине с коэффициентом жесткости c , подвешены магнитный стержень массы m_1 , проходящий через соленоид, и медная пластинка массы m_2 , проходящая между полюсами магнита. По соленоиду течет ток $I(t)$, который развивает силу взаимодействия с магнитным стержнем $F(I)$. Сила торможения медной пластинки вследствие вихревых токов равна

$$F = kv\Phi^2, \quad (1)$$

где k – коэффициент силы торможения,

Φ – магнитный поток,

v – скорость пластинки.

Движение груза описывается дифференциальным уравнением

$$m\ddot{x} = mg - F_{\text{упр}} - F_C + F(I). \quad (2)$$