

УДК 677.014/017.42

**ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОЛОКОН И НИТЕЙ  
ПРИ СКОРОСТНОМ РАСТЯЖЕНИИ**

**ASSESSMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF FIBERS AND THREADS  
AT SPEED TENSION**

*Е.Л. ПАШИН, А.В. ОРЛОВ*

*E.L. PASHIN, A.V. ORLOV*

**(Костромской государственной университет)**

**(Kostroma State University)**

E-mail: evgpashin@yandex.ru

*Для проведения испытаний текстильных волокон и нитей при одноосном растяжении, сходном по условиям, возникающим при их переработке и эксплуатации, предложено использовать конструкцию копра. На этой основе разработан метод определения прочностных и деформационных характеристик анализируемого образца, заключающийся в контроле времени и угловой координаты перемещения маятника копра. Это обеспечивает определение углового ускорения, а по его величине – изменение усилия натяжения и деформации образца в процессе нагружения и разрушения.*

*Authors suggest using pendulum impact test to perform one-dimensional tension tests on textile fibers and threads in conditions similar to those existing during the manufacturing process. On this basis a method is suggested that allows determining tensile properties of the sample by measuring the timing and the angular coordinate of the pendulum. This allows calculation of the angular acceleration of the pendulum and torque applied by the sample, which, in turn, depends on sample's tensile strength and the way it deforms during the testing.*

**Ключевые слова:** волокно, нить, разрыв, испытание, маятниковый копер, разрывное усилие, удлинение, угловое ускорение.

**Keywords:** fiber, thread, tension, testing, pendulum stress test, tensile strength, one-dimensional deformation, angular acceleration.

Решение задачи по определению механических свойств волокон и нитей при их скоростном растяжении было предложено провести, используя в качестве аналога маятниковый копер Гудбрандта (рис. 1 – схема испытания нити на разрыв с использованием копра маятникового типа: 1 – положение испытуемого образца при разных положениях маятника) [1].

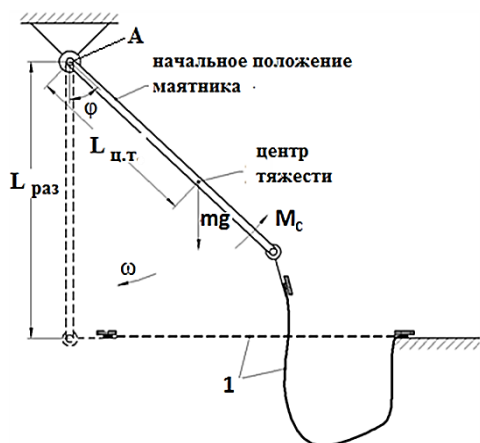


Рис. 1

Для этого применили общеизвестное уравнение динамики для вращательного движения твердого тела [2]. Согласно ему произведение момента инерции тела  $J_y$  на его угловое ускорение  $\varepsilon$  равно сумме моментов всех сил  $\sum M_i$  относительно оси вращения. К числу формирующихся моментов в рассматриваемом случае (рис. 1) относим момент от действия силы натяжения испытываемого образца  $M_{\text{РАЗ}} = R_{\text{РАЗ}} L_{\text{РАЗ}}$ , момент от суммарного действия сил сопротивления перемещению маятника  $M_C$  (без учета  $R_{\text{РАЗ}}$ ), момент от действия силы тяжести  $M_G = mgL_{\text{ц.т.}} \sin \phi$ . Поэтому в момент разрыва образца возможно определение  $R_{\text{РАЗ}}$  с использованием зависимости:

$$R_{\text{РАЗ}} = \frac{J_y \varepsilon - M_C - mgL_{\text{ц.т.}} \sin \phi}{L_{\text{РАЗ}}} \quad (1)$$

Наиболее сложными в определении  $R_{\text{РАЗ}}$  являются расчеты момента инерции маятника  $J_y$  и углового ускорения  $\varepsilon$ .

Для конкретной конструкции копра момент инерции относительно точки подвеса маятника является константой. Поэтому его величину предложено определять с использованием "метода малых колебаний" [2] по формуле:

$$J_y = \frac{aPT^2}{4\pi^2}, \quad (2)$$

где  $a$  – расстояние от оси подвеса до центра тяжести маятника;  $P$  – вес маятника;  $T$  – период малых колебаний.

Для определения углового ускорения  $\varepsilon$  необходима информация о характере изменения угловой координаты  $\phi$  по времени при нагружении и разрушении образца. Отсюда расчет второй производной координаты  $\phi$  по времени обеспечит знание величины  $\varepsilon = d^2\phi/dt^2$ .

Таким образом, необходим контроль углового перемещения маятника копра. Для этого предложено использовать датчик угла поворота оси  $A$ , на которой закреплен маятник (рис. 1). В настоящее время это технически решаемая задача, так как существуют и успешно применяются на практике различные типы таких датчиков, в том числе и безынерционных [3]. Они обеспечивают требуемую точность и быстродействие замера (разрешение более 4000 имп/об; частота выходного сигнала 10 и более кГц).

Заметим, что предложенные варианты расчета разрывной нагрузки  $R_{\text{РАЗ}}$ , наряду с традиционно определяемой на копрах работой разрушения, не являются достаточными для достижения поставленной цели: определение комплекса общепринятых механических свойств при растяжении [4]. Необходимы знания о деформационных характеристиках, а именно об относительной деформации волокна  $\Delta$ , определяемой в % по формуле:

$$\Delta = \frac{(\phi - \phi_0)L_{\text{РАЗ}}}{L} \cdot 100, \quad (3)$$

где  $\phi_0$  – угловая координата маятника при нулевой деформации волокна;  $L$  – длина образца волокна или пряжи.

В связи с этим нами была обоснована возможность определения возникающей при испытании деформации. В основу положен алгоритм, реализующий сопоставление возникающих при разрушении (разрыве) образца дополнительных угловых ускорений  $\varepsilon$  маятника с угловым ускорением, имеющим место при свободном движении маятника  $\varepsilon_{хол}$ . С этой целью с помощью ЭВМ контролируют время измерения  $\tau$  и угловую координату  $\varphi$ , а по характеру изменения и величине  $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{хол} - \varepsilon$  определяют моменты времени начала воздействия на образец  $\tau_1$  ( $\Delta\varepsilon \neq 0$ ), достижения максимального разрывного усилия  $\tau_2$  ( $\Delta\varepsilon \rightarrow \max$ ) и полного разрушения образца  $\tau_3$  ( $\Delta\varepsilon = 0$ ). После этого с помощью (1) рассчитывается значение силы натяжения для каждого момента времени между  $\tau_1$  и  $\tau_3$ . При этом знание значений угловой координаты обеспечивает возможность получения временной зависимости относительного удлинения образца в процессе его испытания (на стадиях нагружения, разрыва и окончательного разрушения), что достаточно для построения полной диаграммы растяжения.

## ВЫВОДЫ

Предложенная методика расчета значений механических свойств волокон и нитей с использованием копра является основой нового способа испытания при высокоскоростном разрыве, особенностью которого

является определение не только работы разрушения испытываемого образца, но и совокупности общепризнанных прочностных и деформационных свойств с построением полной диаграммы растяжения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Садыкова Ф.А., Монастырский А.Г. Учение о волокнистых материалах. – М.: Легпромиздат, 1952.
2. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1986.
3. Карман А., Кожемяка А., Троцкий А. Датчики угла поворота // Мир автоматизации. – 2009, № 6. С. 22...26.
4. Кирюхин С.М., Шустов Ю.С. Текстильное материаловедение. – М.: КолосС, 2011.

## REFERENCES

1. Kukin G.N., Solov'ev A.N., Sadykova F.A., Monastyrskiy A.G. Uchenie o voloknistykh materialakh. – M.: Legpromizdat, 1952.
2. Targ S.M. Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki. – 10-e izd., pererab. i dop. – M.: Vysshaya shkola, 1986.
3. Karman A., Kozhemyaka A., Trotskiy A. Datchiki ugla povorota // Mir avtomatizatsii. – 2009, № 6. S.22...26.
4. Kiryukhin S.M., Shustov Yu.S. Tekstil'noe materialovedenie. – M.: KolosS, 2011.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов. Поступила 28.11.17.