

DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-2-60-64

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РАЗРЫВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОН И НИТЕЙ ПРИ СКОРОСТНОМ РАСТЯЖЕНИИ

© Евгений Львович Папин¹, Александр Валерьевич Орлов²¹ Костромская государственная сельскохозяйственная академия, г. Кострома, Россия; e-mail: evgpashin@yandex.ru² Костромской государственной университет, г. Кострома, Россия; e-mail: aorlov@list.ru

Статья поступила 15 февраля 2018 г. Поступила после доработки 28 октября 2018 г. Принята к публикации 19 декабря 2018 г.

Отмечены недостатки существующих методов анализа текстильных волокон и нитей при разрыве, обусловленные несоответствием лабораторных испытаний условиям их силового нагружения при эксплуатации и переработке. Предложен метод, основанный на принципе работы маятникового копра. Разработан алгоритм, позволяющий определить работу разрыва, разрывную нагрузку и относительную величину деформации материала, основываясь на изменении угловой координаты маятника. В итоге создана испытательная система контроля в виде программно-аппаратного комплекса, реализующая новый метод и позволяющая визуализировать результаты при определении разрывных характеристик. Представлены примеры практического использования системы с применением различных типов пряжи и нитей. Проведено сравнение полученных результатов с данными их испытаний на типовой разрывной машине РМ-30-1. Дана интерпретация отличий полученных значений деформационных характеристик анализируемых материалов.

Ключевые слова: волокно; пряжа; разрыв; маятниковый копр; разрывная нагрузка; работа разрыва; относительная деформация.

TEST SYSTEM FOR MONITORING THE TENSILE CHARACTERISTICS OF FIBERS AND FILAMENTS UNDER HIGH-SPEED STRETCHING

© Eugeny L. Pashin¹, Alexander V. Orlov²¹ Kostroma Agricultural Academy, Kostroma, Russia; evgpashin@yandex.ru² Kostroma State University, Kostroma, Russia; aorlov@list.ru

Received February 15, 2018. Revised October 28, 2018. Accepted December 19, 2018.

The drawbacks of the existing methods of analysis of textile fibers and threads at break, due to the incompatibility of the laboratory tests with conditions of their strength loading during operation and processing are considered. A method of testing based on a pendulum impact tester and algorithm for determination of the work of rupture, tensile strength and relative deformation of the material using angular coordinate of the pendulum are developed. The developed device provides visualization of the testing results for various types of yarn and threads. The results are compared with the data obtained on a standard tensile strength machine RM-30-1. Differences in the relative deformation values of tested materials are described and interpreted.

Keywords: fiber; yarn; stretching; pendulum hammer; tensile strength; force of rupture; work of rupture; relative deformation.

Современные стандартные методы исследования текстильных волокон и нитей не обеспечивают сходства режимов испытаний с условиями их переработки и эксплуатации [1, 2]. Особенно это касается технического текстиля, служащего для армирования композитов, изготовления пара-

шютных строп, буксирных тросов, корда в автомобильных покрышках и других изделий, подвергающихся кратковременным и интенсивным нагрузкам при скорости нагружения более 30 м/с. Одна из причин несоответствия нагрузок при испытании и эксплуатации — особенность кон-

струкции разрывных машин. При высоких скоростях разрыва в них возникают инерционные нагрузки, что в условиях податливости элементов конструкции приводит к снижению точности измерений [3].

В этой связи создание эффективных способов и средств испытания волокон и нитей на разрыв, обеспечивающих прогнозирование характера поведения готовых текстильных материалов в процессе их переработки и эксплуатации, является актуальной задачей.

Теоретические исследования разрушения ориентированных полимеров при высоких скоростях нагружения выявили особенности формирования их разрывных характеристик [4, 5]. Идеи скоростных испытаний волокнистых материалов развиты в работах отечественных и зарубежных материаловедов [6 – 8].

Первые разработки в этом направлении связаны с созданием копров по испытанию текстильных волокон на растяжение [9]. Однако методы и средства контроля в этом случае были использованы при проведении научных исследований и нашли широкое применение в стандартных системах испытаний текстильных материалов.

Поэтому требовалась разработка портативной инструментальной системы определения разрывных характеристик при скоростном одноосном растяжении. При ее создании за основу принят принцип, реализуемый при использовании копров [10].

Рабочий подвижный боёк копра рассматривали как физический маятник, в результате перемещения которого происходит разрыв испытываемого образца. Основой способа определения максимальной разрывной нагрузки явилось использование уравнения динамики для вращательного движения твердого тела. Согласно ему, произведение момента инерции тела J_y на его угловое ускорение ε равно сумме моментов $\sum M_i$ всех сил, прилагаемых относительно оси вращения. В общее число оцениваемых моментов входит момент от действия искомой силы, формирующейся при разрыве волокна или нити ($R_{\text{раз}}$). Ее действие при плече $L_{\text{раз}}$ создает момент $M_{\text{раз}} = R_{\text{раз}}L_{\text{раз}}$. С учетом действия всех сил

$$R_{\text{раз}} = \frac{J_y \varepsilon - M_c - mgL_{\text{ц.т}} \sin \varphi}{L_{\text{раз}}}, \quad (1)$$

где J_y — момент инерции маятника; ε — угловое ускорение; M_c — момент сил сопротивления; mg — сила тяжести маятника; $L_{\text{ц.т}}$ — расстояние от оси вращения до центра тяжести маятника; $L_{\text{раз}}$ — расстояние от оси вращения до точки при-

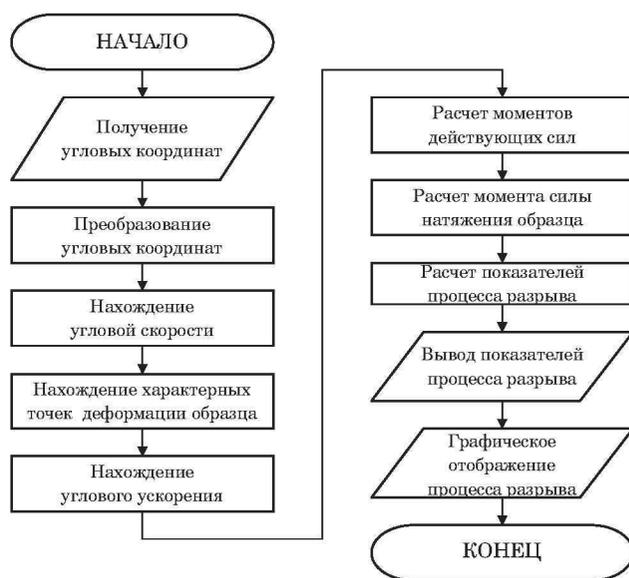


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета разрывных и деформационных характеристик

ложения разрывной нагрузки; φ — угловая координата при перемещении маятника.

При наличии информации о величинах J_y , M_c , $L_{\text{ц.т}}$, $L_{\text{раз}}$, mg , φ основной задачей применения (1) является расчет ускорения ε . Это возможно путем нахождения второй производной угловой координаты маятника во времени. При этом источником контроля времени испытания является ЭВМ. Имея максимальное по модулю значение ε_{max} , можно согласно (1) рассчитать разрывное усилие $R_{\text{раз}}$. Зная моменты начала и окончания формирования ускорения при разрыве ε , определяют величины деформации. По разнице максимальных углов отклонения маятника рассчитывают работу разрыва $A_{\text{раз}}$. Таким образом, по итогам испытания определяют следующие характеристики: разрывное усилие, работу разрыва, общую относительную деформацию образца при разрыве с выделением доли деформации до момента достижения $R_{\text{раз}}$.

Указанные характеристики рассчитывали по специально разработанной программе для ЭВМ, блок-схема алгоритма которой представлена на рис. 1.

В результате была создана испытательная система контроля разрывных характеристик волокон и нитей при скоростном растяжении, состоящая из блоков механического испытания (БМИ) (рис. 2) и расчетов (БР).

Конструкция БМИ включает остов 1 с шарнирным подвесом маятника 2. Его ось вращения 3 связана с серийно выпускаемым датчиком угла поворота 4, сигналы от которого передаются к ЭВМ. На маятнике закреплен один из зажимов 5

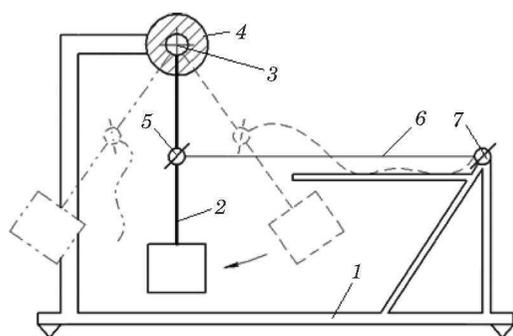


Рис. 2. Схема блока механического испытания

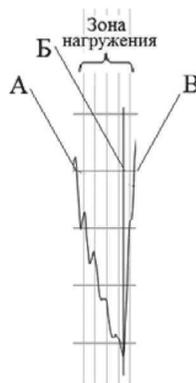


Рис. 4. Изменение углового ускорения в зоне нагружения и деформации испытываемого образца

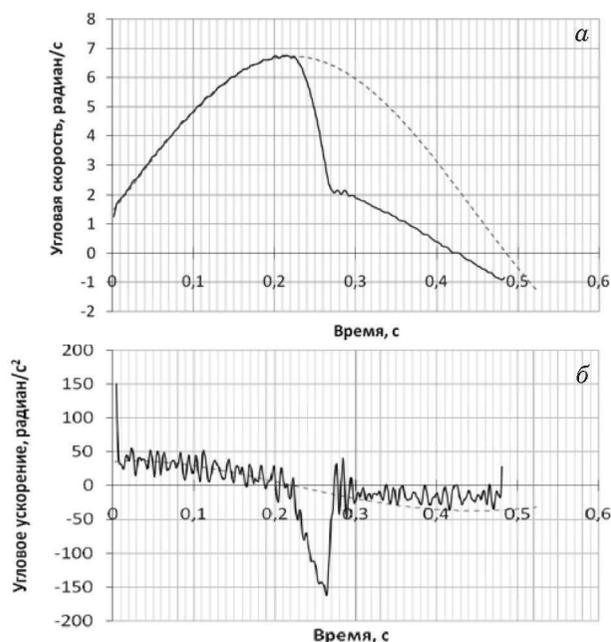


Рис. 3. Изменение угловой скорости (а) и углового ускорения (б)

испытываемого образца 6. Другой зажим 7 установлен на остоле (см. рис. 2).

Испытания проводят следующим образом. Образец волокна или нити определенных массы и длины закрепляют в зажимах БМИ при условии нахождения маятника в начальном положении. Далее маятник отводят вправо на начальный угол подъема и фиксируют его положение. Значение начального угла подъема определяет величину скорости приложения усилия для разрыва образца. Программу ЭВМ приводят в состояние ожидания, после чего фиксатор маятника освобождают, и маятник перемещается за счет силы тяжести. В момент прохождения им начального положения образец начинает разрываться. После разрушения образца маятник по инерции продолжает перемещаться до момента его останова, когда испытание завершается.

Весь объем расчетов и определений реализуется программой для ЭВМ по специальному алгоритму (см. рис. 1). По завершении испытания на дисплее ЭВМ появляются значения указанных выше характеристик. Программа также обеспечивает визуализацию характера формирования угловой скорости и ускорения, по величине которого рассчитывается разрывное усилие.

Были проведены тестовые испытания новой системы контроля. Анализ полученных временных зависимостей формируемых скоростей и ускорения при движении маятника подтвердил возможность ее использования для определения разрывных характеристик текстильных волокон и нитей. Рассмотрим пример испытания нити из углеродного волокна.

Представленные на рис. 3 зависимости иллюстрируют протекающие при растяжении процессы движения маятника, нагружения и деформирования испытываемого образца. Свободному перемещению маятника (см. рис. 3, а, пунктирная линия) соответствует изменение его угловой скорости по синусоидальному закону. При разрыве образца закономерности движения маятника отличаются от свободного перемещения (см. рис. 3, а, сплошная линия). В начальный момент разрыва наблюдается изменение угловой скорости, соответствующее отрицательному ускорению (см. рис. 3, б). Анализ величины и характера его изменения (рис. 4) позволяет определить начало деформирования образца (координата т. А по оси X), величину разрывного усилия по формуле (1) и значение ϵ_{\max} (в момент достижения координаты т. Б по оси X), а также завершение периода деформирования (координата т. В по оси X).

Новую систему контроля апробовали с использованием пряжи и нитей различных волокнистых составов и линейных плотностей. Параллельно проводили их испытания по стандартной методике, предусматривающей использование разрывной машины РМ-30-1, позволяющей определять только два показателя — разрывное

Таблица 1. Результаты анализа пряжи (нити) по стандартному методу

Вид материала, волокнистый состав	Линейная плотность, текс	Усилие разрыва $R_{раз}$, Н	Относительная деформация до $R_{раз}$, %
Пряжа, хлопок	100	23,9 ± 0,50	6,9 ± 0,10
Нить, углерод	100	21,7 ± 0,80	1,1 ± 0,06
Пряжа мокрого прядения, лен	130	18,3 ± 0,50	2,3 ± 0,10
Нить (армированная), лавсан	40	19,8 ± 0,10	18,0 ± 0,10

Таблица 2. Результаты анализа пряжи (нити) с использованием новой системы испытаний

Вид материала, волокнистый состав	Линейная плотность, текс	Усилие разрыва $R_{раз}$, Н	Работа разрыва $A_{раз}$, мДж	Относительная деформация до $R_{раз}$, %	Относительная деформация после $R_{раз}$, %
Пряжа, хлопок	100	22,3 ± 0,2	186,7 ± 6,1	2,2 ± 0,50	1,1 ± 0,40
Нить, углерод	100	14,0 ± 0,8	59,6 ± 3,3	0,7 ± 0,05	0,3 ± 0,02
Пряжа мокрого прядения, лен	130	21,6 ± 2,2	82,6 ± 6,1	0,8 ± 0,20	0,2 ± 0,10
Нить (армированная), лавсан	45	20,7 ± 0,8	565,0 ± 12,5	11,7 ± 0,50	1,1 ± 0,50

усилие и деформацию до момента достижения максимальной разрывной нагрузки. Разрыв производили при межзажимном расстоянии 500 мм. Скорость перемещения активного зажима при новой системе контроля превышала в два раза аналогичный показатель при стандартных испытаниях по ГОСТ ISO 2062–2014.

Результаты испытаний пряжи по стандартному методу представлены в табл. 1, а с использованием новой системы испытаний — в табл. 2.

Анализ опытных данных позволил констатировать следующее. В сравнении с вариантом применения разрывной машины РМ-30-1 новая система испытания позволяет получать дополнительную информацию о свойствах испытываемого материала, в частности, определять работу разрыва и составляющие общей деформации как до момента формирования $R_{раз}$, так и после достижения $R_{раз}$ до полного разрушения образца. Возникновение второй составляющей деформации объясняется различием разрывных и деформационных характеристик структурных элементов, составляющих пряжу или нить. В этом случае процесс разрыва происходит согласно закономерностям, описывающим разрыв пучка волокон [11]. Волокна разрываются не одновременно, так как распределение их прочности носит статистический характер. В таких условиях максимальная разрывная нагрузка формируется ранее момента полного разрушения материала, что объясняет существование второй составляющей деформации. Поэтому ее величина представляет интерес для оценки структурных параметров материала.

Установлены различия разрывных характеристик испытываемых образцов, полученных по сравниваемым методикам оценки. При стан-

дартных испытаниях наименее деформируемой до момента возникновения наибольшего разрывного усилия является нить из углеродного волокна. Наибольшее удлинение отмечено у лавсановой нити. Льняная пряжа мокрого прядения деформируется в меньшей степени, чем хлопковая, которая оказалась наиболее прочной. Наименьшей прочностью обладает льняная пряжа.

При новой системе контроля при повышенной в два раза скорости нагружения образцов в момент разрыва получены результаты, во многом сходные с данными стандартных испытаний. Однако выявлены и отличия. Так, усилие разрыва углеродной нити оказалось ниже, что, вероятно, обусловлено меньшим временем нагружения при разрыве.

Следует отметить, что при испытании по новому методу с повышенной скоростью нагружения величина относительной деформации до $R_{раз}$ снижается у всех видов нитей и пряжи. Поэтому в реальных условиях переработки, при которых скорости нагружения значительно больше, чем при стандартных испытаниях [12], анализируемый материал будет менее деформируемым. Данное несоответствие свидетельствует о недостатках стандартных методов испытания, существующих в настоящее время. При их использовании невозможен прогноз поведения пряжи и нити в ходе их обработки на всех стадиях технологического цикла.

Таким образом, результаты апробации новой системы испытаний образцов пряжи и нитей различного состава показали возможность ее применения для определения разрывных характеристик при одноосном скоростном растяжении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудряшова Н. И., Кудряшов Б. А. Высокоскоростное растяжение текстильных материалов. — М.: Легкая индустрия, 1974. — 267 с.
2. Перепелкин К. Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. — М.: Изд-во «Научные основы и технологии», 2009. — 658 с.
3. Голубков В. С., Пирогов К. М., Смушкovich Б. Л. Испытательные машины в текстильном материаловедении. — М.: Легпромбытиздат, 1988. — 208 с.
4. Журков С. Н., Томашевский Э. Е., Санфирова Т. П. Механические свойства материалов при больших скоростях деформирования / Техническая физика. 1953. Т. 23. Вып. 6. С. 933 – 939.
5. Перепелкин К. Е., Ройтих А. М. Зависимость физико-механических свойств ориентированных полимерных материалов (пленок, волокон) от скорости деформирования / Физико-химическая механика материалов. 1968. Т. 4. № 3. С. 271 – 278.
6. Казале А., Потрер Р. Реакция полимеров под действием напряжений / Пер. с англ.; под ред. А. Я. Малкина. — Л.: Химия, 1983. — 320 с.
7. Перепелкин К. Е. Структура и свойства волокон. — М.: Химия, 1985. — 208 с.
8. Цой Б., Карташов Э. М., Шевелев В. В. Прочность и разрушение полимерных пленок и волокон. — М.: Химия, 1999. — 496 с.
9. Крагельский И. В. Динамическое определение прочности текстильных материалов. — М.: Гизлегпром, 1933. — 51 с.
10. А. с. 33330 СССР. Динамометр маятниково-копрового типа для определения крепости текстильных материалов / И. В. Крагельский; заявл. 12.03.33; опубл. 30.11.1933.
11. Щербаков В. П. Прикладная и структурная механика волокнистых материалов: монография. — М.: Тисо Принт, 2013. — 304 с.
12. Банакова Н. В., Крутикова В. Р. Анализ параметров технологических процессов preparatory, ткацкого и трикотажного производства по тензограммам нити / Изв. вузов. Технологии текстильной промышленности. 2015. № 5. С. 100 – 105.

REFERENCES

1. Kudryashova N. I., Kudryashov B. A. High-speed stretching of textile materials. — Moscow: Legkaya industriya, 1974. — 267 p. [in Russian].
2. Perepelkin K. E. Reinforcing fibers and fiber-polymer composite materials. — Moscow: Nauchnye osnovy i tekhnologii, 2009. — 658 p. [in Russian].
3. Golubkov V. S., Pirogov K. M., Smushkovich B. L. Testing machines used in textile material science. — Moscow: Legprombytizdat, 1988. — 208 p. [in Russian].
4. Zhurkov S. N., Tomashevskii E. E., Sanfirova T. P. Mechanical properties of materials undergoing high-speed deformation / Tekhn. Fiz. 1953. Vol. 23. N 6. P 933 – 939 [in Russian].
5. Perepelkin K. E., Roitikh A. M. Relation between physical and mechanical properties of oriented polymer materials (membranes, fibers) and deformation speed / Fiz.-Khim. Mekh. Mater. 1968. Vol. 4. N 3. P 271 – 278.
6. Casale A., Porter P. Polymer stress reactions. Vol. 1 — Introduction, Academic. — New York, 1978. — 118 p. [in Russian].
7. Perepelkin K. E. Structure and properties of fibers. — Moscow: Khimiya, 1985. — 208 p. [in Russian].
8. Tsoi B., Kartashov E. M., Shevelev V. V. Tensile strength and disintegration of polymer membranes and fibers. — Moscow: Khimiya, 1999. — 496 p. [in Russian].
9. Kragel'skii I. V. Dynamic method of estimating strength of textile materials. — Moscow: Gizlegprom, 1933. — 51 p. [in Russian].
10. USSR Inventoris certificate 33330. Pendulum-based dynamometer for determining strength of textile materials / I. V. Kragel'skii; appl. 12.03.1933, publ. 30.11.1933.
11. Shcherbakov V. P. Applied and structural mechanics of fibrous materials: monograph. — Moscow: Tiso Print, 2013. — 304 p. [in Russian].
12. Banakova N. V., Krutikova V. R. Analysis of parameters of preprocessing, weaving and warp-knitting production using thread tensograms / Izv. Vuzov. Tekhnol. Tekstil'. Promyshl. 2015. N 5. P 100 – 105.