

УДК 677.014/017.42
DOI 10.47367/0021-3497_2021_2_41

**ОЦЕНКА ДЕФОРМАЦИИ ВОЛОКОН И НИТЕЙ
ПРИ ИСПЫТАНИИ НА РАЗРЫВНОЙ МАШИНЕ КОПРОВОГО ТИПА**

**EVALUATION OF THE DEFORMATION OF FIBERS AND THREADS
WHEN TESTED ON A BURSTING MACHINE OF THE KOPR TYPE**

А.В. ОРЛОВ, Е.Л. ПАШИН

A.V. ORLOV, E.L. PASHIN

**(Костромской государственный университет,
Костромская государственная сельскохозяйственная академия)**

**(Kostroma State University,
Kostroma State Agricultural Academy)**

E-mail: evgpashin@yandex.ru

В статье дано обоснование способа оценки деформации волокон и нитей при одноосном растяжении до разрыва на машине копрового типа с учетом случайных помех угловых скоростей ее активного рабочего органа. Расчеты

основаны на определении моментов времени от начала нагружения до достижения разрывного усилия и от этого момента до полного разрушения нити. Разработан алгоритм и программная реализация расчетов, экспериментальная проверка которых подтвердила возможность определения деформаций волокон и нитей с разными свойствами.

The article provides a substantiation of the method for assessing the deformation of fibers and threads under uniaxial tension to rupture on a hammer-type machine, taking into account random disturbances in the angular velocities of its active working body. The calculations are based on determining the moments of time from the beginning of loading to reaching the breaking force and from this moment to the complete destruction of the thread. An algorithm and software implementation of calculations was developed, the experimental verification of which confirmed the possibility of determining the deformations of fibers and threads with different properties.

Ключевые слова: волокно, разрывная машина, испытание, разрывная нагрузка, деформация, маятник, угловая скорость.

Keywords: fiber, tensile machine, test, breaking load, deformation, pendulum, angular velocity.

В [1] представлены основы нового способа испытания волокон, нитей и пряжи (далее нить) при одноосном растяжении и разрыве. Его характерной особенностью является контроль изменения во времени угловой координаты с последующим расчетом скорости и ускорения маятника с активным зажимом нити. Зная минимальное ускорение $\dot{\varphi}_{\min}$ и время его формирования t_{\min} , становится возможным расчет разрывного усилия P_{\max} . Время начала и завершения изменения ускорения маятника при разрыве в сопоставлении с ускорением при холостом ходе (без нити) позволяет примерно определить деформацию нити. Однако, согласно [2...4], более точное знание общей деформации от начала нагружения до t_{\min} и после этого момента времени до полного разрушения представляет практический интерес, что и стало целью настоящей работы.

Применительно к рассматриваемому способу испытания [1] выделено три этапа изменения угловой скорости маятника с активным зажимом в условиях холостого и рабочего перемещений с интервалами времени: I – $t_1 \dots t_2$, II – $t_2 \dots t_3$, III – $t_3 \dots t_4$ (рис. 1 – изменения угловой скорости маятника $\dot{\varphi}$

с полем ошибок: 1 – холостой ход, 2 – рабочий ход, 3 – свободный ход после разрыва).

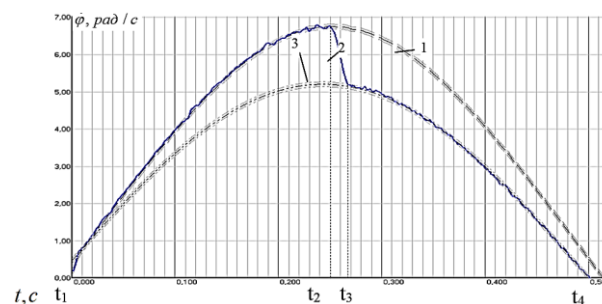


Рис. 1

По совокупности причин при определении угловой скорости имеют место погрешности, представленные на рисунке в виде полей случайных отклонений. Они обусловлены возможными деформациями пассивных и активных элементов конструкции разрывной машины [5], что отражается на результатах измерения. Для определения деформационных характеристик наибольший интерес представляет второй этап, по длительности которого можно судить об общей деформации нити. Согласно [1] начало этого этапа в момент времени t_2 будет иметь место в окрестности точки траек-

тории маятника, где нить начнет противодействовать его движению. Для предложенной конструкции разрывной машины этому будет соответствовать положение маятника в нижней точке траектории перемещения его центра тяжести. Поэтому в расчетах именно эту точку принимаем, как начальную (нулевую) для отсчета угловой координаты, то есть $\varphi(t_2) \approx 0$. Тогда при перемещении маятника до ее достижения значения угловой координаты будут отрицательными, а после нее – положительными.

Для фиксации момента начала процесса растяжения t_2 важно определить момент времени, при котором начнет формироваться отклонение $\Delta\dot{\varphi}(t)$ угловой скорости рабочего хода $\dot{\varphi}_{\text{раб}}(t)$ от холостого $\dot{\varphi}_{\text{хол}}(t)$:

$$\Delta\dot{\varphi}(t) = \dot{\varphi}_{\text{раб}}(t) - \dot{\varphi}_{\text{хол}}(t). \quad (1)$$

С учетом этого первое приближение для величины t_2 будет соответствовать моменту времени t_2' , когда $\varphi(t_2') = 0$. Однако существование полей случайных отклонений требует уточнения указанного выше приближения.

Рассмотрим величину $\Delta\dot{\varphi}(t)$ в интервале $t \in [0; t_2']$. В этот период нить не оказывает значительного влияния на ход маятника. Поэтому можно считать, что величина $\Delta\dot{\varphi}(t)$ определяется в основном механическими погрешностями системы, а $\dot{\varphi}_{\text{раб}}(t) \approx \dot{\varphi}_{\text{хол}}(t)$. Приняв допущение об изменении указанных выше случайных отклонений скоростей по закону нормального распределения, возможен расчет их доверительного интервала $\theta_{\Delta\dot{\varphi}}$. Тогда условием, определяющим начало второго этапа разрыва, а значит и время t_2 , будет выход величины $\Delta\dot{\varphi}(t)$ за границы доверительного интервала:

$$\dot{\varphi}_{\text{раб}}(t_2) < \dot{\varphi}_{\text{хол}}(t_2) - \theta_{\Delta\dot{\varphi}}. \quad (2)$$

Определение времени окончания полной деформации нити t_3 требует знания за-

кона изменения угловой скорости маятника на третьем этапе, где влияние нити отсутствует. Допустим, что изменение угловой скорости $\dot{\varphi}_{\text{раб}}(t)$ соответствует гармоническому закону синуса, согласно колебательному движению свободного маятника:

$$\dot{\varphi}_{\text{раб}}(t) = V \sin\left(2\pi \frac{t + \tau}{T}\right), \quad (3)$$

где V – амплитуда колебаний; T – период колебаний; τ – фаза.

Фазу колебаний τ определяем, зная период колебаний T с учетом условия $\dot{\varphi}_{\text{раб}}(t_4) = 0$. Величину амплитуды V определим, учитывая запас энергии маятника E , а именно по углу подъема маятника после разрыва нити. При наличии информации о конструкции маятника и его массе амплитуду V определим по формуле:

$$V = \sqrt{\frac{2E}{I}} = \sqrt{\frac{2mg\ell(1 - \cos\phi_k)}{I}}, \quad (4)$$

где m – масса маятника; ℓ – расстояние от оси до центра масс маятника; I – момент инерции маятника; ϕ_k – угол подъема маятника после разрыва.

В итоге задача сводится к определению периода колебаний T . Для этого осуществим аппроксимацию значений $\dot{\varphi}_{\text{раб}}(t)$ на интервале $t \in [t_3; t_4]$. Допустим, что эти значения также распределены по гармоническому закону, представленному зависимостью (3). В качестве критерия, определяющего качество аппроксимации, примем сумму квадратов разностей $\sum (\dot{\varphi}(t) - \dot{\varphi}_{\text{аппрок}}(t))^2$. В этом случае выбор искомого значения T возможен с применением метода дихотомии, как наиболее простого в реализации и обладающего достаточно малой вычислительной сложностью. Однако для определения аппроксимируемого набора данных необходимо знать приближенное значение t_3' . Условием такого приближения будет минимум величины $\Delta\dot{\varphi}(t)$ на интервале

$t \in [t_2; t_4]$ с учетом условия $\dot{\phi}_{\text{раб}}(t_4) = 0$.
 Найдя приближение t_3' , становится возможным аппроксимировать изменение по (3) величины $\dot{\phi}_{\text{раб}}(t)$ на интервале $t \in [t_3'; t_4]$ с применением метода дихотомии. В качестве начального диапазона возможных значений примем диапазон $T \in [0,5t_2; 2t_4]$. Тогда, с учетом величин V , T , τ становится возможным установить закономерность изменения $\dot{\phi}_{\text{аппрок}}(t)$ после полного разрушения нити.

Наличие $\dot{\phi}_{\text{аппрок}}(t)$ является основой для определения времени начала третьего этапа ($t_3 \dots t_4$). Для этого применим тот же метод, что и при нахождении момента времени t_2 . Аналогично оценим величину доверительного интервала $\theta_{\Delta\phi_3}$ значений разности $\Delta\dot{\phi}(t) = \dot{\phi}_{\text{раб}}(t) - \dot{\phi}_{\text{аппрок}}(t)$, формирующихся во временном промежутке $t \in [t_3'; t_4]$. Тогда момент t_3 будет определяться неравенством:

$$\dot{\phi}_{\text{раб}}(t_3) > \dot{\phi}_{\text{аппрок}}(t_3) + \theta_{\Delta\phi_3} \quad (5)$$

Наибольшее значение t_3 , согласно (5), будет являться искомым временем начала этапа III.

Зная момент времени $t_{P_{\text{макс}}}$, при котором формируется $P_{\text{макс}}$, а также время t_2 и t_3 , появляется возможность определения общей и составляющих деформации нити.

Обобщение изложенных вычислений представлено на рис. 2 (блок-схема опера-

ций для определения деформаций при разрыве).

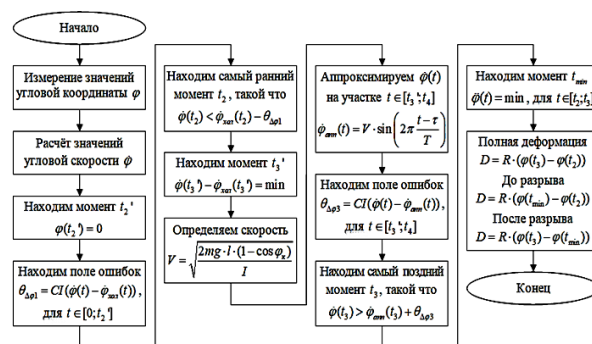


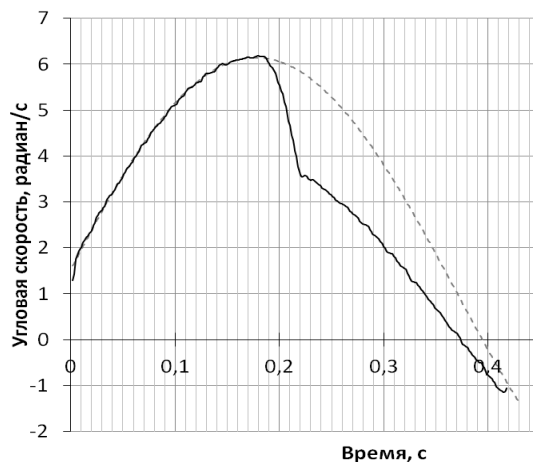
Рис. 2

Она явилась основой для создания программы для ЭВМ, как составной части инструментальной системы (ИС) испытания с использованием новой разрывной машины копрового типа. Проверку эффективности алгоритма расчета деформаций провели с использованием различных по составу, свойствам и характеру деформирования при разрыве нитей. Испытания провели при стандартных межзажимных расстояниях с использованием созданной ИС, обеспечивающей определение работы разрыва, разрывного усилия и деформаций. Дополнительно, для понимания явлений, происходящих при разрыве, ИС обеспечивает визуализацию изменения угловой скорости перемещения активного зажима при разрыве нитей.

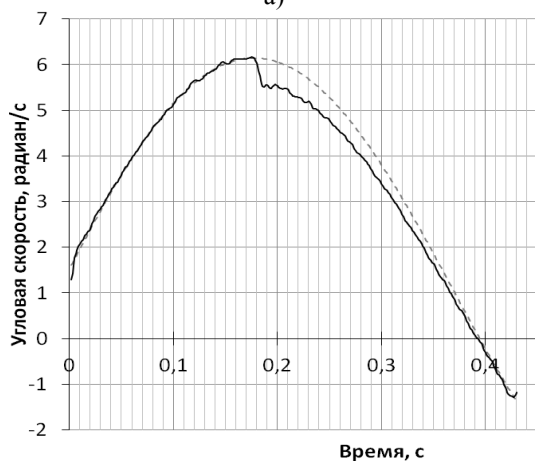
Результаты испытания представлены в табл. 1, а на рис. 3, в качестве примера, – графические зависимости угловых скоростей для хлопковой пряжи и углеродной нити.

Т а б л и ц а 1

Вид материала, волокнистый состав	Усилие разрыва, $R_{\text{раз}}$, Н	Работа разрыва, $A_{\text{раз}}$, мДж	Относительная деформация до $R_{\text{раз}}$, %	Относительная деформация после $R_{\text{раз}}$, %
Пряжа, хлопок	22,3±0,2	186,7±6,1	2,2±0,50	1,1±0,40
Нить, углерод	14,0±0,8	59,6±3,3	0,7±0,05	0,3±0,02
Нить, лавсан	20,7±0,8	565,0±12,5	11,7±0,50	1,1±0,50
Волокно льняное трепаное стланцевое (параметры навески по ГОСТ10330–76)	141,8±12,0	407,3±31,3	1,6±0,36	1,2±0,43



а)



б)

Рис. 3

Полученные результаты свидетельствуют о соответствии деформационных характеристик общепризнанным сведениям об испытываемых материалах. В частности, наименьшая полная деформация при разрыве характерна для углеродной нити, а наибольшая – для лавсановой. С учетом разрывного усилия и величины деформации наибольшей работой разрыва обладает льняное волокно и хлопковая пряжа, а наименьшей – углеродная нить. Эти различия подтверждаются графиками угловых скоростей (рис. 3 – изменение угловой скорости маятника при испытании хлопковой пряжи (а) и углеродной нити (б)).

ВЫВОДЫ

1. Для расчета составляющих полной деформации нити необходимо определять интервалы времени от начала нагружения до достижения максимального разрывного усилия P_{\max} и от этого момента до полного

разрушения нити. Время достижения P_{\max} определяется по методу, указанному в [1]. При расчетах следует учитывать случайные отклонения угловых скоростей активного зажима на маятнике, обусловленные погрешностями испытательной системы.

2. Момент времени начала растяжения нити следует определять по минимальной разности скоростей маятника при его холостом перемещении и в условиях разрыва. Время окончания полного разрушения нити вытекает из условия совпадения рабочей скорости маятника с предварительно рассчитанной скоростью его перемещения на завершающем этапе испытания после полного разрушения.

3. Экспериментальная проверка предложенного алгоритма расчета общей деформации и ее составляющих при одновременной визуализации изменения кинематических параметров активного зажима разрывной машины подтвердила возможность его практического использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пашин Е.Л., Орлов А.В. Испытательная система контроля разрывных характеристик волокон и нитей при скоростном растяжении // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2019. Т. 85, №2. С. 60...64.
2. Hearle J.W.S., Morton W.E. Physical Properties of Textile Fibres. – England, Cambridge, 2008.
3. Севостьянов П.А., Забродин Д.А., Дасюк П.Е. Компьютерное моделирование в задачах исследования текстильных материалов и производств. – М.: Тисо Принт, 2014.
4. Грушина Ю.С. и др. Автоматизация метода испытания на ударную прочность геосинтетических материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №3. С.223...226.
5. Ветрова Ю.С. и др. Расширение функциональных возможностей метода испытания на динамическое продавливание геосинтетических материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, №2. С.267...270.

REFERENCES

1. Pashin E.L., Orlov A.V. Ispytatel'naya sistema kontrolya razryvnykh kharakteristik volokon i nitey pri skorostnom rastyazhenii // Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. – 2019. T. 85, №2. S. 60...64.
2. Hearle J.W.S., Morton W.E. Physical Properties of Textile Fibres. – England, Cambridge, 2008.

3. Sevost'yanov P.A., Zabrodin D.A., Dasyuk P.E. Komp'yuternoe modelirovanie v zadachakh issledovaniya tekstil'nykh materialov i proizvodstv. – M.: Tiso Print, 2014.

4. Grushina Yu.S. i dr. Avtomatizatsiya metoda ispytaniya na udarnuyu prochnost' geosinteticheskikh materialov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, №3. S.223...226.

5. Vetrova Yu.S. i dr. Rasshirenie funkional'nykh vozmozhnostey metoda ispytaniya na dinamicheskoe prodavlivanie geosinteticheskikh materialov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018, №2. S.267...270.

Рекомендована кафедрой технических систем в АПК КГСА. Поступила 06.12.19.
