

УДК 677.14/017.002.59

DOI 10.47367/0021-3497_2022_3_59

**ПРИЧИНЫ СНИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
РАЗРЫВНОЙ НАГРУЗКИ ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА
ПО СТАНДАРТНОМУ МЕТОДУ НА МАШИНЕ РМП-1**

**REASONS FOR DECREASING THE ACCURACY
OF DETERMINING THE BREAKING LOAD OF LINEN FIBER
ACCORDING TO THE STANDARD METHOD BY MACHINE RMP-1**

Е.Л. ПАШИН, С.Н. РАЗИН, А.В. ОРЛОВ

E.L. PASHIN, S.N. RAZIN, A.V. ORLOV

(Костромская государственная сельскохозяйственная академия,
Костромской государственный университет)

(Kostroma State Agricultural Academy,
Kostroma State University)

E-mail: evgpashin@yandex.ru; aorlov@list.ru

В статье представлен анализ особенностей формирования натяжения льняного волокна при определении его разрывного усилия на машине РМП-1, используемой при стандартных испытаниях по действующим межгосударственному (страны СНГ) и национальным ГОСТ. Установлена причина формирования динамической погрешности при использовании машины РМП-1. Это происходит из-за применения маятникового силоизмерителя, а также из-за различий в условиях формирования растягивающих усилий при статическом и динамическом нагружениях. Выявлено, что при наличии у анализируемого волокна исходных разбросов по разрывному усилию и жесткости при растяжении, наблюдаемый по шкале РМП-1 разброс значений разрывной нагрузки увеличивается по сравнению с исходным в два и более раз. Такое несоответствие разбросов значений разрывного усилия на РМП-1 приводит к ошибкам при определении номера трепанного льняного волокна по действующим стандартам.

The article presents an analysis of the formation features of flax fiber tension when determining its breaking force on the machine RMP-1, used in standard tests according to the current interstate (CIS countries) and national GOST (Russian National Standard). The reason for the formation of a dynamic error when using the RMP-1 machine is established. This is due to the use of a pendulum force meter, as well as differences in the conditions for the formation of tensile forces under static

and dynamic loading. It was found that if the analyzed fiber has initial scatter in breaking force and tensile stiffness, the scatter in values of breaking load observed on the RMP-1 scale increases by two or more times compared to the initial one. Such a discrepancy between the spread of breaking force values on RMP-1 leads to errors in determining the number of torn flax fiber according to current standards.

Ключевые слова: погрешность, измерение, волокно, разрыв, машина, маятник, силоизмеритель, вариация, разрывное усилие, жесткость на разрыв.

Keywords: error, measurement, fiber, rupture, machine, pendulum, force meter, variation, breaking force, tensile strength.

В целях оптимизации технологий переработки льна и его купли-продажи на предприятиях льняного комплекса проводится определение качества трепаного льняного волокна по действующим стандартам [1], [2]. Для этого оценивают его физико-механические свойства. В частности, контролируют разрывное усилие волокна, для чего применяют разрывные машины ДКВ-60 или РМП-1, конструкция которых включает маятниковые силоизмерители (рис.1 – схема силоизмерительного узла разрывной машины РМП-1).

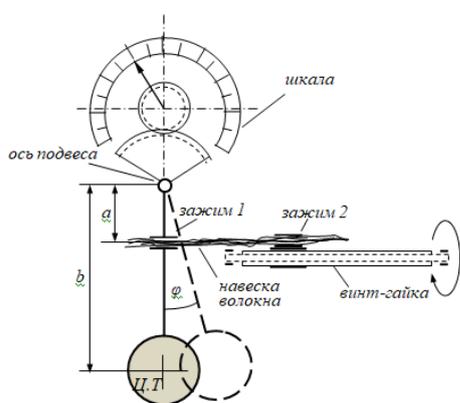


Рис. 1

Ось подвеса машины связана со стрелкой измерительной шкалы, а также с рычагом, к которому на расстоянии a от оси прикладывается через пассивный зажим 1 усилие от растяжения образца, а на расстоянии b , то есть к центру масс рычага Ц.Т. – сила тяжести mg (m – масса рычага).

Конструкция шкалы обеспечивает контроль усилия при натяжении волокнистой навески до момента ее разрыва.

В ходе метрологической поверки шкала значений разрывной нагрузки у машины РМП-1 градуируется в зависимости от угла отклонения φ рычага от вертикали. Согласно методике поверки [3] измерительная шкала градуируется посредством подвешивания с использованием специального устройства грузов разной массы. Этот процесс осуществляют в статических условиях при выключенном приводе на основе применения следующей зависимости:

$$F^{cr} = \frac{mgb}{a} \operatorname{tg}\varphi. \quad (1)$$

Известно, что особенностью конструкции разрывных машин с маятниковым силоизмерителем является повышенная податливость пассивного зажима для анализируемого образца [4]. Величина податливости K_M определяется как отношение изменения расстояния между зажимами (захватами) машины Δl к вызвавшему его изменению силы ΔP в условиях отсутствия продольной деформации пряди. Иными словами, $K_M = \Delta l / \Delta P$ или в общем виде $K_M = dl/dP$, м/Н. Величина, обратная податливости, называется жесткостью S_M . Для маятникового силоизмерителя она определяется как $mgb/a^2 \cdot \cos\varphi$ [4]. Очевидно, что жесткость силоизмерителя машины РМП-1 не является постоянной величиной и зависит от угла φ . При $\varphi = 0$ она наименьшая и равна $m \cdot g \cdot b/a^2$. С увеличением φ жесткость меняется по закону косинуса.

Данная закономерность изменения S_M должна в ходе перемещения рычага влиять на величину усилия, возникающего при

растяжении образца, формируя динамическую погрешность до 15% [5]. В связи с этим важно исследование причины и закономерностей образования столь значительной погрешности.

Рассмотрим процесс нагружения пряжи волокна на основе анализа динамической схемы, подобной реальному испытанию на машине РМП-1 при скорости перемещения активного зажима (т. В) 120 мм/мин (рис. 2 – схема нагружения волокна при растяжении в машине РМП-1). Прядь волокна будем моделировать как пружину с жесткостью при растяжении C .

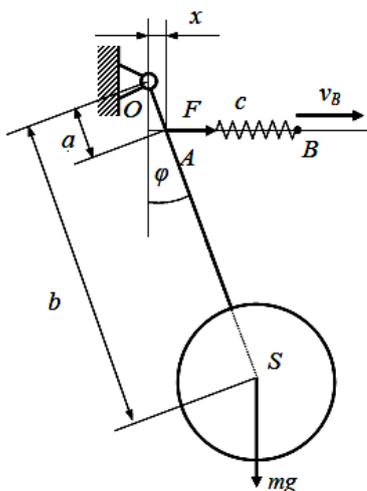


Рис. 2

Для получения уравнения движения будем рассматривать рычаг с подвешенным грузом как систему с маятником и воспользуемся дифференциальным уравнением вращательного движения:

$$J_{Oz} \ddot{\phi} = Fa \cos \phi - mgb \sin \phi, \quad (2)$$

где J_{Oz} – момент инерции маятника относительно оси Oz , перпендикулярной плоскости рисунка; m – масса маятника; F – сила упругости, возникающая в испытуемом волокне в результате движения точки В (конец волокна) со скоростью v_B .

Изменением направления силы F пренебрегаем в силу того, что длина пряжи волокна АВ много больше смещения точки А по вертикали, возникающего из-за отклонения маятника. Моделируя волокно как линейно упругий элемент, получим:

$$F = c\Delta = c(v_B t - x) = c(v_B t - a \sin \phi), \quad (3)$$

где Δ – деформация упругого элемента; c – жесткость волокна.

Подставляя (3) в (2), выполним преобразование в следующий вид:

$$J_{Oz} \ddot{\phi} = c(v_B t - a \sin \phi) a \cos \phi - mgb \sin \phi,$$

или

$$J_{Oz} \ddot{\phi} - cv_B ta \cos \phi + (ca^2 \cos \phi + mgb) \sin \phi = 0. \quad (4)$$

Поскольку угол отклонения маятника от вертикали при испытаниях может принимать достаточно большие значения, зависящие от разрывной прочности испытываемого волокна, то решение нелинейного уравнения (4) проводили численным методом Эйлера с применением системы Mathcad. Значения параметров уравнения (4) соответствовали характеристикам машины РМП-1: $a = 0,008$ м; $b = 0,145$ м; $m = 5,154$ кг; $J_{Oz} = 0,129$ кг·м²; $v_B = 0,002$ м/с. Жесткость волокна c приняли равной $40,0 \pm 0,2$ кН/м с учетом данных, представленных в [6].

Найдя решение уравнения (4), получили графическую зависимость растягивающей силы F от угла отклонения рычага ϕ (рис. 3). Дополнительно к растягивающим силам на рисунке указана зависимость силы $F^{ст}(\phi)$, формируемая при статическом нагружении, эквивалентном применяемому при тарировке шкалы РМП-1 по методике [5]. Она представлена в виде наклонной штриховой прямой линии.

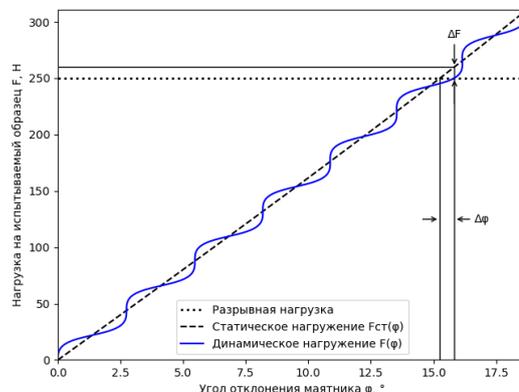


Рис. 3

Полученный результат выявил цикличность изменения усилия F . Это в определенной мере объясняет причины формирования описанной в [5] значительной погрешности при использовании силоизмерителей маятникового типа.

Поясним это применительно к разрывной нагрузке 250 Н, обозначенной на рис. 3 (формирование погрешности при измерении разрывного усилия на машине РМП-1) горизонтальной пунктирной линией. Сравним углы отклонения маятника от точек пересечения с ней линий, представляющих зависимости $F^{ст}(\varphi)$ и $F(\varphi)$. Выбранный уровень силы натяжения достигается этими зависимостями при разных значениях угла φ . Как следствие, наблюдаемые значения разрывного усилия будут различаться при измерении разрывного усилия по шкале машины РМП-1 и по той же шкале, но в условиях статического нагружения, когда производят тарировку шкалы.

Для определения величины различий при известных значениях углов φ , при которых пересекаются указанные линии, воспользуемся выражением (1). Выявленная разность позволяет оценить динамическую погрешность ϵ машины РМП-1 в виде отношения $(\Delta F/F^{ст}) \cdot 100, \%$. Очевидно, что ее величина (при разных F и C) будет непостоянной. Этот эффект является основой формирования динамической погрешности при определении разрывной нагрузки.

Особый интерес вызывает изучение возникающих погрешностей при испытании волокна, имеющего исходную вариацию по разрывному усилию и жесткости при растяжении. При такой ситуации зависимость $F^{ст}(\varphi)$ в условиях статического нагружения будет иметь поле исходного разброса $\Delta^{ст}_F$. Разброс волокна по жесткости при растяжении Δ_c будет проявляться при динамическом нагружении в виде полей разброса у $F(\varphi)$. Схематично указанные поля представлены на рис. 4 (схема формирования наблюдаемого на машине РМП-1 разброса разрывного усилия волокна, имеющего исходные разбросы по этому признаку и жесткости при растяжении) для среднего значения разрывной нагрузки 175 Н, $\Delta^{ст}_F = 34$ Н и $\Delta_c = 5\%$. Здесь кривые "динамика 1" и "ди-

намика 2" представляют изменение силы F , соответственно, при повышенной и пониженной на 5% жесткости волокна.

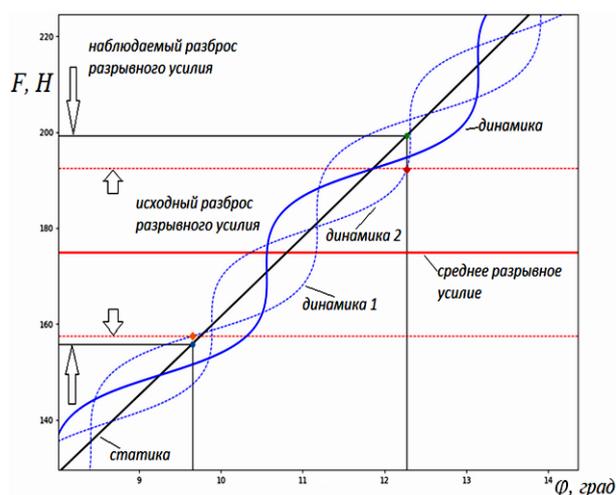


Рис. 4

Из анализа схемы следует, что при испытании на машине РМП-1 наблюдаемый разброс разрывной нагрузки может быть больше фактического разброса разрывной нагрузки у исходного волокна. Однако выявленные различия в разбросах не являются постоянными и зависят от среднего значения разрывной нагрузки, жесткости волокна и от их вариации.

Для обобщенного учета указанных характеристик была разработана специальная программа реализуемого на ЭВМ расчета наблюдаемого разброса. В качестве оценок использовали величину коэффициента вариации (CV). Например, для разрывной нагрузки ее определяли по известной формуле: $(\sigma_F 100) / \bar{F}, \%$, где \bar{F} – среднее значение разрывного усилия; σ_F – среднее квадратическое отклонение F . Показатель CV оценивали как у исходного, так и наблюдаемого по шкале РМП-1 усилия.

Характер изменения CV в зависимости от средней разрывной нагрузки, жесткости волокна при растяжении и ее вариации проиллюстрирован на рис. 5...7 (рис. 5 – изменения наблюдаемого коэффициента вариации при разной разрывной нагрузке (при $c = 30$ кН/м и $CV_c = 15 \%$); рис. 6 – изменения наблюдаемого коэффициента вариации при разной упругости волокна (при $F = 150$

Н и $CV_c = 15\%$); рис. 7 – изменения наблюдаемого коэффициента вариации при разном коэффициенте вариации упругости волокна (при $F = 150$ Н и $c = 30$ кН/м). Результаты

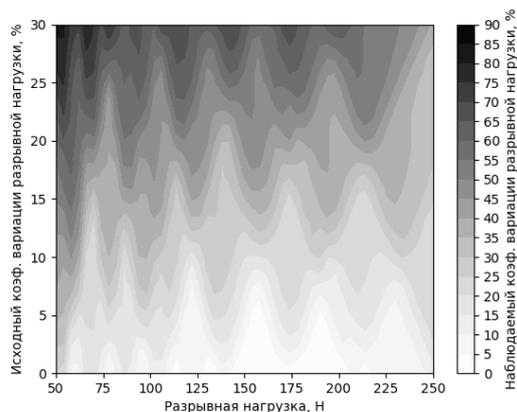


Рис. 5

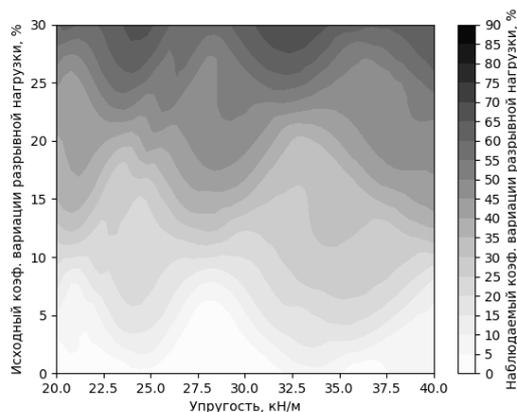


Рис. 6

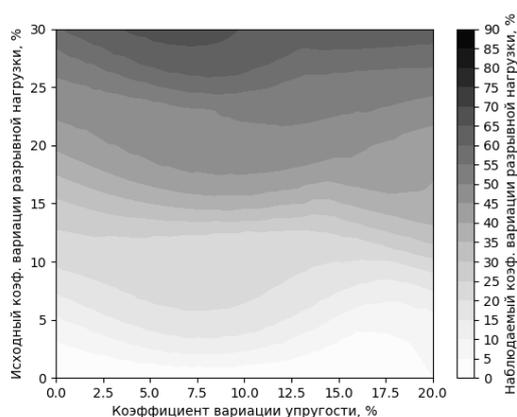


Рис. 7

Из анализа полученных результатов следует, что формирующийся при испытании на машине РМП-1 коэффициент вариации разрывного усилия волокна $CV_{наб}$ в большинстве случаев превышает $CV_{исх}$, присущий исходному материалу. При определенных сочетаниях исходных значений средней разрывной нагрузки, жесткости волокна при растяжении и вариации этих характеристик величина превышения коэффициентов вариации может достигать двух и более раз. Однако, как показали расчеты, возникающее различие между $CV_{наб}$ и $CV_{исх}$ не является постоянной величиной. Такая изменчивость объясняется, прежде всего, нелинейностью уравнения (4), связанной с изменением жесткости силоизмерителя по закону косинуса. Тем не менее,

таты получены при параметрах конструкции и работы, характерных для машины РМП-1[3].

проявляются тенденции увеличения $(CV_{наб})/(CV_{исх})$ при росте исходной вариации и снижении среднего значения разрывной нагрузки. Зависимости отношения $(CV_{наб})/(CV_{исх})$ от жесткости при растяжении волокна и вариации по этой характеристике также связаны с уровнем исходной вариации разрывной нагрузки. При ее величине 25...30% наблюдаемый разброс разрывного усилия может существенно превосходить исходный уровень. Указанные тенденции хорошо объяснимы с позиций теории вероятностей, а именно с определением интегральной дисперсии, получаемой от суммирования двух независимых случайных величин.

Заметим, что попытка определения поправки к наблюдаемым результатам испытания для оценки исходной вариации разрывного усилия волокна оказывается безуспешной, так как величина $(CV_{наб})/(CV_{исх})$ зависит от сочетания исследуемых свойств волокна и определяется нелинейностью динамической системы, что влияет на конечный результат испытания.

Выявленный эффект роста наблюдаемого коэффициента вариации разрывного усилия по отношению к его исходному уровню имеет важное практическое следствие. По действующему ГОСТ [1] номер трепанного волокна зависит не только от средних значений его физико-механичес-

ких свойств, но и от коэффициента вариации по разрывной нагрузке [1, табл. 3]. При указанных выше условиях в процессе стандартных испытаний будет формироваться погрешность, приводящая к ошибкам при определении номера трепаного волокна.

ВЫВОДЫ

1. Применяемый в конструкции машины РМП-1 маятниковый силоизмеритель вызывает формирование динамической погрешности при определении разрывного усилия волокна. Причиной ее появления являются различия в условиях формирования растягивающих усилий при статическом и динамическом нагружениях.

2. Наличие у анализируемого волокна исходного варьирования по его прочности на разрыв и жесткости при растяжении увеличивают (по сравнению с исходным) формирующееся варьирование на основе наблюдаемых по шкале РМП-1 значений разрывной нагрузки в два и более раз. Степень завышения коэффициента вариации зависит от комбинации свойств анализируемого волокна, податливостью маятникового силоизмерителя и плохо поддается предсказанию.

3. Несоответствие уровня вариации значений разрывного усилия на РМП-1 и исходной (фактической) вариации прочности волокна на разрыв приводит к ошибкам при определении номера трепаного льняного волокна по действующим стандартам.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 53484 – 2009. Лен трепаный. Технические условия / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Стандартинформ, 2010.

2. СТБ 1195 – 2008. Волокно льняное трепаное длинное. Технические условия / Госстандарт республики Беларусь, 2008.

3. Сборник методических указаний по ведомственной поверке приборов отраслевого назначения для предприятий первичной обработки льна и конопли. – М., ЦНИИТЭИлегпром, 1985.

4. Голубков В.С., Пирогов К.М., Смушкович Б.Л. Испытательные машины в текстильном материаловедении. – М.: Легпромбытиздат, 1988.

5. Потанов А. И., Савицкий Г. М. Прочность и деформация стеклопластиков (контроль в конструкциях). – Л.: Стройиздат, 1973.

6. Выхарев С. М., Федосова Н. М., Батьков Н. В. Информационно-измерительная система на базе разрывной машины РМП-1 // Вестник Костромского гос. технолог. ун-та. – 2008, №1. С. 78...80.

REFERENCES

1. GOST R 53484 – 2009. Scutched flax fibre. Specifications. – 2011.

2. STB 1195 – 2008. Long scutched flax fibre. Specifications. – 2008.

3. Methodical recommendations regarding verification of measurement devices for hemp and flax processing industry. – Moscow, CNIITEIlegprom, 1985.

4. V.S. Golubkov, K.M. Pirogov and B.L. Smushkovich, Testing machines in textile material science. – Moscow, Legprombytizdat, 1988.

5. A.I. Potapov and G.M. Savitsky, Strength and deformation of fiberglass in construction. – Leningrad, Strojizdat, 1973.

6. S.M. Vikharev, N.M. Fedosova and N.V. Baticov, 'Computerized measurement system based on tensile strength testing machine RMP-1 // Vestnik KGTU. – no. 1, 2008, pp. 78...80.

Рекомендована кафедрой технических систем в АПК Костромской ГСХА. Поступила 30.06.21.