

УДК 677.11.021.16/022:658.562

**ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
ПРИ ИЗМЕРЕНИИ РАЗРЫВНОЙ НАГРУЗКИ
И ГИБКОСТИ ДЛИННОГО ТРЕПАНОГО ЛЬНОВОЛОКНА**

**ESTIMATION OF UNCERTAINTY
AT MEASUREMENT THE BREAKING LOAD
AND FLEXIBILITY OF LONG SCUTCHED FLAX**

*А.С. ДЯГИЛЕВ, И.А. ПЕТЮЛЬ, А.Н. БИЗЮК, А.Г. КОГАН, К.Э. РАЗУМЕЕВ
A.S. DYAGILEV, I.A. PETYUL, A.N. BIZYUK, A.G. KOGAN, K.E. RAZUMEEV*

(Витебский государственный технологический университет,
Московский государственный университет дизайна и технологии)
(Vitebsk State Technological University,
Moscow State University of Design and Technology)
E-mail: dyagilev@vstu.by; petyl@inbox.ru; biziuk.andrei@gmail.com

В статье предложены методики расчета расширенной неопределенности при испытаниях разрывной нагрузки и гибкости длинного трепаного льноволокна. Приведены оценки расширенной неопределенности, рассчитанные на основе данных лабораторного исследования длинного трепаного льноволокна урожая 2013-2015 гг. Приведено статистическое исследование взаимосвязи между средними значениями разрывной нагрузки, гибкости длинного трепаного льноволокна и расширенной неопределенностью при их измерении.

The article offers a methodology for calculating the expanded uncertainty in testing the breaking load and flexibility of long scutched flax fiber. Estimates of the expanded uncertainty, calculated on the basis of data of laboratory research of long scutched flax grown in 2013-2015, are shown. Statistical research of the relationship between the mean values of the breaking load and flexibility of long scutched flax fiber and expanded uncertainty in their measurements are given.

Ключевые слова: длинный трепаный лен, разрывная нагрузка, гибкость, неопределенность.

Keywords: long scutched flax, breaking load, flexibility, uncertainty.

Качество льноволокна, его прядильная способность согласно действующим нормативным документам [1], [2] зависит от комплекса физико-механических показателей.

При этом низкие значения одного показателя могут быть компенсированы высокими значениями другого. По сравнению с другими натуральными волокнами льняное во-

локно отличается повышенной неравномерностью физико-механических свойств, что повышает актуальность задачи получения адекватной оценки его свойств. В современной метрологической практике при испытаниях в аккредитованных текстильных лабораториях наряду с оценкой доверительных границ погрешности измерений все шире используется понятие "неопределенность результата измерения" [3], [4]. Это понятие учитывает не только вариативность измеряемого показателя, но и влияние различных факторов на результаты измерения.

Контрольные прочесы длинного трепаного льноволокна в производственных условиях РУПТП "Оршанский льнокомбинат" показали [5], что разрывная нагрузка и гибкость длинного трепаного льноволокна оказывают определяющее влияние на его прядильную способность. В связи с этим настоящая работа посвящена оценке неопределенности при измерении именно этих показателей на основе данных о свойствах белорусского льноволокна урожая 2013-2015 гг. [6], [7], полученных из более 2000 протоколов, накопленных в информационной системе контроля качества РУПТП "Оршанский льнокомбинат" [8], [9].

Согласно действующим стандартам [1], [2] при определении значения разрывной нагрузки партии длинного трепаного льноволокна отбирается 30 проб волокна массой 0,42 г с погрешностью $\pm 0,001$ г. Затем измеряется наибольшее усилие, выдерживаемое образцом до разрыва на разрывной машине марки ДВК-60, с погрешностью $\pm 2\%$ от прилагаемой нагрузки и ценой деления шкалы, равной 5 Н.

Таким образом, при оценке неопределенности измерения разрывной нагрузки длинного трепаного льноволокна нужно учитывать:

– поправку, связанную с погрешностью разрывной машины (по паспорту $\pm 2\%$ от измеренного значения). Приняв предположение о равномерном законе распределения, получим стандартную неопределенность, обусловленную данным фактором:

$$\Delta P_1 = \frac{2\bar{P}}{100\sqrt{3}}, \quad (1)$$

где \bar{P} – среднее значение разрывной нагрузки 30 проб льноволокна;

– поправку на вариационный разброс, вычисляемую как оценку стандартной ошибки среднего [10] разрывной нагрузки, в предположении о нормальном законе распределения величины:

$$\Delta P_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n(n-1)}}, \quad (2)$$

где P_i – отдельные значения разрывной нагрузки 30 проб льноволокна;

– поправку на округление, связанную с ценой деления измерительной шкалы (цена деления 5 Н). При постулировании равномерного закона распределения стандартная неопределенность из-за влияния данного фактора составит:

$$\Delta P_3 = \frac{5 \cdot 0,5}{\sqrt{3}} = 1,443; \quad (3)$$

– поправку на допустимое отклонение массы при подготовке проб (масса пробы 0,42 г, погрешность весов $\pm 0,001$ г). Полагая, что зависимость между массой пробы и разрывной нагрузкой в рассматриваемом диапазоне значений будет линейной, а закон распределения величины – равномерный, стандартная неопределенность будет иметь вид:

$$\Delta P_4 = \frac{\bar{P} \cdot 0,001}{0,42 \cdot \sqrt{3}}. \quad (4)$$

Модель измерения для вычисления неопределенности учитывает поправки на воздействие факторов, влияющих на процесс измерения разрывной нагрузки, и описывается так:

$$P = \bar{P} + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4. \quad (5)$$

При расчете суммарной неопределенности вклад каждой из рассмотренных величин (поправок) учитывается с помощью коэффициентов чувствительности, которые являются частными производными первого

порядка модели измерения (5). Коэффициенты чувствительности в данном случае равны 1, так как модель измерения (5) имеет линейный вид:

$$cP = (1, 1, 1). \quad (6)$$

Суммарная стандартная неопределенность вычисляется по формуле:

$$u_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n (cP_i \Delta P_i)^2}. \quad (7)$$

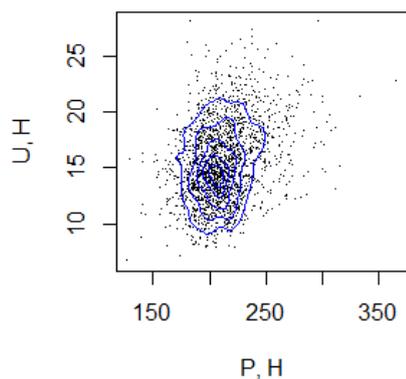


Рис. 1

На рис. 1 представлена диаграмма рассеяния и линии равного уровня совместного распределения расширенной неопределенности и среднего значения разрывной нагрузки. На рис. 2 приведено трехмерное представление ядерной оценки совместного распределения расширенной неопределенности и среднего значения разрывной нагрузки [11...13]. Как показано на рис. 1 и рис. 2, среднее значение разрывной нагрузки находилось в пределах от 127 до 366 Н, при этом ее расширенная неопределенность варьировалась в диапазоне от 6 до 28 Н. Наиболее вероятная комбинация среднего значения разрывной нагрузки и расширенной неопределенности при ее измерении 211,7 и 14,2 Н соответственно.

На основе данных, приведенных на рис. 1, был проведен регрессионный анализ и построена статистически значимая линейная регрессионная модель:

$$U_p = 7,43 + 0,038\bar{P}. \quad (9)$$

Расширенная неопределенность при измерении разрывной нагрузки длинного трепаного льноволокна в соответствии с подходом, изложенным в [4], вычисляется:

$$U_p = u_p t_{\alpha;n}, \quad (8)$$

где $t_{\alpha;n}$ – коэффициент Стьюдента. При вычислениях расширенной неопределенности принимаем число степеней свободы $n = \infty$, а уровень значимости $\alpha = 0,05$.

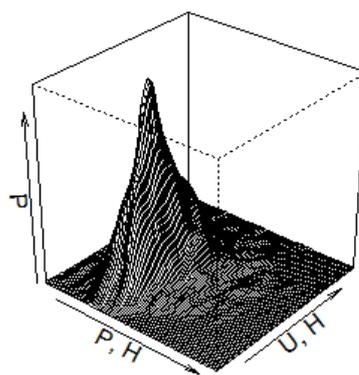


Рис. 2

Коэффициент детерминации полученной модели $R^2 = 0,07$ (p -value $< 2,2e^{-16}$). Таким образом, значения расширенной неопределенности и разрывной нагрузки имеют положительную статистически значимую взаимосвязь, и при увеличении среднего значения разрывной нагрузки на 1 Н значение расширенной неопределенности в среднем увеличивается на 0,038 Н. При этом только 7% изменения значения расширенной неопределенности объясняется изменением среднего значения разрывной нагрузки.

При определении значения гибкости партии длинного трепаного льноволокна согласно действующим стандартам [1], [2] отбирается 30 проб волокна массой 0,42 г с погрешностью $\pm 0,001$ г, длиной 27 см. Затем с помощью гибкомера ГВ-2, цена деления шкалы которого составляет 1 мм, замеряется абсолютный прогиб обоих концов пучка волокон каждой пробы. Фиксируемое значение является мерой деформации изгиба и называется стрелой прогиба.

Таким образом, при оценке неопределенности результата измерения гибкости длинного трепаного льноволокна следует учитывать:

– поправку, связанную с отклонением щечек гибкомера в исходном положении от горизонтали. Согласно методике аттестации прибора допустимое отклонение величины составляет $\pm 0,2$ мм. Приняв предположение о равномерном законе распределения рассматриваемой величины, получим стандартную неопределенность, обусловленную данным фактором:

$$\Delta F_1 = \frac{0,2}{\sqrt{3}}, \quad (10)$$

– поправку на вариационный разброс, вычисляемую как оценку стандартной ошибки среднего гибкости, в предположении о нормальном законе распределения:

$$\Delta F_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}{n(n-1)}}, \quad (11)$$

– поправку на определение положения середины свисающих концов пучка волокон, привносимую оператором при считывании стрелы прогиба. Исходя из опыта работы, квалификации и навыков оператора, абсолютное значение величины может достигать ± 1 мм. Тогда стандартная неопределенность, обусловленная данным фактором, при равномерном законе распределения вычисляется:

$$\Delta F_3 = \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad (12)$$

– поправка на допустимое отклонение массы при подготовке проб (масса пробы 0,42 г, погрешность весов $\pm 0,001$ г) аналогично (4) в предположении о равномерном законе распределения стандартная неопределенность составит:

$$\Delta F_4 = \frac{\bar{F} \cdot 0,001}{0,42 \cdot \sqrt{3}}. \quad (13)$$

Модель измерения учитывает поправки на воздействие факторов, влияющих на процесс измерения гибкости, и имеет следующий вид:

$$F = \bar{F} + \Delta F_1 + \Delta F_2 + \Delta F_3 + \Delta F_4. \quad (14)$$

Коэффициенты чувствительности приняты равными 1, так как модель измерения (14) имеет линейный вид:

$$cF = (1, 1, 1, 1). \quad (15)$$

Суммарная стандартная неопределенность вычисляется по формуле:

$$u_F = \sqrt{\sum_{i=1}^n (cF_i \Delta F_i)^2}. \quad (16)$$

Расширенная неопределенность при измерении гибкости длинного трепаного льноволокна:

$$U_F = u_F t_{\alpha;n}, \quad (17)$$

где $t_{\alpha;n}$ – коэффициент Стьюдента. При вычислениях расширенной неопределенности по типу В [1] принимаем число степеней свободы $n = \infty$, а уровень значимости $\alpha = 0,05$.

На рис. 3 представлена диаграмма рассеяния и линии равного уровня совместного распределения расширенной неопределенности и среднего значения гибкости. На рис. 4 приведено трехмерное представление ядерной оценки совместного распределения расширенной неопределенности и среднего значения гибкости. Как показано на рис. 3 и 4, среднее значение гибкости льноволокна находилось в пределах от 13 до 64 мм, при этом расширенная неопределенность при ее определении находилась в пределах от 1,7 до 4,9 мм. Наиболее вероятная комбинация среднего значения гибкости и неопределенности при ее измерении 30,7 и 2,7 мм соответственно.

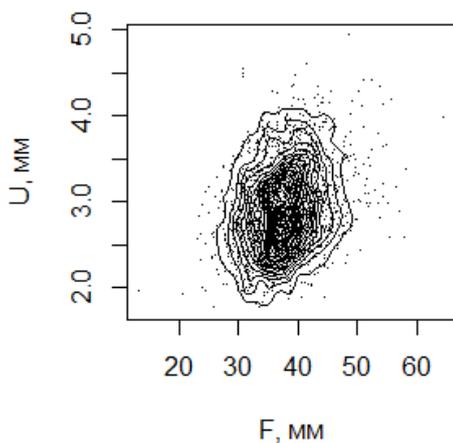


Рис. 3

На основе данных, приведенных на рис. 3, был проведен регрессионный анализ и построена статистически значимая линейная регрессионная модель:

$$U_F = 1,88 + 0,027\bar{F}. \quad (18)$$

Коэффициент детерминации полученной модели $R^2=0,08$ ($p\text{-value} < 2,2e^{-16}$). Таким образом, значения расширенной неопределенности и гибкости имеют положительную статистически значимую взаимосвязь, и при увеличении среднего значения гибкости на 1 мм значение расширенной неопределенности в среднем увеличивается на 0,027 мм. При этом только 8% изменения значения расширенной неопределенности объясняется изменением среднего значения разрывной нагрузки.

ВЫВОДЫ

1. В работе предложены методики расчета расширенной неопределенности при испытаниях разрывной нагрузки и гибкости длинного трепаного льноволокна, проводимых согласно отраслевым стандартам, действующим на территории Российской Федерации и Республики Беларусь [1], [2].

2. По предложенным методикам рассчитаны оценки значений расширенной неопределенности при определении среднего значения разрывной нагрузки и гибкости белорусского длинного трепаного льноволокна урожая 2013-2015 гг.

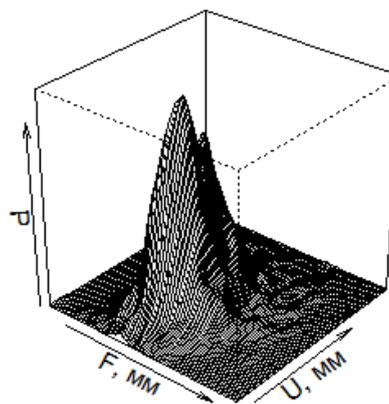


Рис. 4

3. Установлен вид статистической взаимосвязи между средними значениями разрывной нагрузки, гибкости и расширенной неопределенностью при их измерении.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТБ 1195–2008. Волокно льняное трепаное длинное. Введ. 2008-04-30. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2008.
2. ГОСТ 10330–76. Лен трепаный. Введ. 1989-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1989.
3. СТБ ИСО/МЭК 17025–2007. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. – Взамен СТБ ИСО/МЭК 17025-2001.- Введ. 2007 – 08 -01. – Минск: Госстандарт, 2007.
4. Руководство по выражению неопределенности измерения. — СПб.: Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева, 1999.
5. Дягилев А.С., Бизюк А.Н., Коган А.Г. Оценка прядельной способности длинного трепаного льноволокна // Вестник Витебского гос. технолог. ун-та. – 2015, № 28. С. 61...70.
6. Дягилев А.С., Бизюк А.Н., Коган А.Г. Исследование качественных характеристик белорусского длинного трепаного льноволокна урожая 2013 года // Вестник Витебского гос. технолог. ун-та. – 2014, № 27. С. 31...37.
7. Дягилев А.С., Бизюк А.Н., Коган А.Г. Исследование цветовых характеристик льноволокна в процессе чесания // Вестник Витебского гос. технолог. ун-та. – 2015, № 29. С. 31...42.
8. Дягилев А.С., Бизюк А.Н., Коган А.Г. Построение информационной системы для контроля качества длинного трепаного льноволокна в производственных условиях // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №1. С. 51...54.
9. Дягилев А.С., Бизюк А.Н., Коган А.Г. Производственный контроль качества длинного трепаного льноволокна // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2015, № 2. С. 59...62.

10. Дягилев А.С., Коган А.Г. Методы и средства исследований технологических процессов: учебное пособие для студентов вузов по специальности "Технология пряжи, тканей, трикотажа и нетканых материалов" // Витебский гос. технолог. ун-т. – Витебск: ВГТУ, 2012.

11. Дягилев А.С., Коган А.Г. Исследование и моделирование физико-механических свойств волокон катонизированного льна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 2. С. 37...41.

12. R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>

13. Silverman B.W. (1986). Density Estimation for Statistics and Data Analysis. Chapman & Hall/CRC. P. 7...11.

REFERENCES

1. STB 1195–2008. Volokno l'njanoe trepanoe dlinnoe. Vved. 2008-04-30. – Minsk: Gosstandart Respubliki Belarus, 2008.

2. GOST 10330–76. Len trepanyj. Vved. 1989-01-01. – M.: Izd-vo standartov, 1989.

3. STB ISO/MJeK 17025–2007. Obshhie trebovanija k kompetentnosti ispytatel'nyh i kalibrovochnyh laboratorij. – Vzamen STB ISO/MJeK 17025-2001.- Vved. 2007 – 08 -01. – Minsk: Gosstandart, 2007.

4. Rukovodstvo po vyrazheniju neopredelennosti izmerenija. — SPb.: Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut metrologii im. D.I. Mendeleeva, 1999.

5. Djagilev A.S., Bizjuk A.N., Kogan A.G. Ocenka prjadil'noj sposobnosti dlinnogo trepanogo l'novolokna // Vestnik Vitebskogo gos. tehnolog. un-ta. – 2015, № 28. S. 61...70.

6. Djagilev A.S., Bizjuk A.N., Kogan A.G. Issledovanie kachestvennyh harakteristik belorusskogo dlinnogo trepanogo l'novolokna urozhaja 2013 goda // Vestnik Vitebskogo gos. tehnolog. un-ta. – 2014, № 27. S. 31...37.

7. Djagilev A.S., Bizjuk A.N., Kogan A.G. Issledovanie cvetovyh harakteristik l'novolokna v processe chesaniya // Vestnik Vitebskogo gos. tehnolog. un-ta. – 2015, № 29. S. 31...42.

8. Djagilev A.S., Bizjuk A.N., Kogan A.G. Postroenie informacionnoj sistemy dlja kontrolja kachestva dlinnogo trepanogo l'novolokna v proizvodstvennyh uslovijah // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2016, №1. S. 51...54.

9. Djagilev A.S., Bizjuk A.N., Kogan A.G. Proizvodstvennyj kontrol' kachestva dlinnogo trepanogo l'novolokna // Izv. vuzov. Tehnologija legkoj promyshlennosti. – 2015, № 2. S. 59...62.

10. Djagilev A.S., Kogan A.G. Metody i sredstva issledovaniy tehnologicheskikh processov: uchebnoe posobie dlja studentov vuzov po special'nosti "Tehnologija prjazhi, tkaney, trikotazha i netkanyh materialov" // Vitebskij gos. tehnolog. un-t. – Vitebsk: VGTU, 2012.

11. Djagilev A.S., Kogan A.G. Issledovanie i modelirovanie fiziko-mehaničeskikh svojstv volokon kotonizirovannogo l'na // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, № 2. S. 37...41.

12. R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>

13. Silverman B.W. (1986). Density Estimation for Statistics and Data Analysis. Chapman & Hall/CRC. P. 7...11.

Рекомендована кафедрой технологии текстильных материалов ВГТУ. Поступила 23.06.16.