







Таблица 1 – Характеристики разрыва и параметры модели для различных видов волокон

| Тип волокна | $\varepsilon_p, \%$ | $\sigma_p, \cdot 10^7 \text{ Па}$ | $b_0, \cdot 10^{-7} \text{ Па}^{-1}$ | $b_1, \cdot 10^{-7} \text{ Па}^{-1}$ | $b_2, \cdot 10^7 \text{ Па}$ | $R^2$  |
|-------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|--------|
| Хлопковое   | 5,2                 | 35,8                              | 0,07108                              | 0,09457                              | 0,9784                       | 0,9976 |
| Вискозное   | 27,5                | 28,5                              | 0,3864                               | 0,03122                              | 0,008134                     | 0,9994 |
| Льняное     | 3                   | 76,8                              | 0,07713                              | 0,0481                               | 6,859                        | 0,9958 |
| Полиэфирное | 21                  | 55                                | 0,122                                | 0,014                                | 0,013                        | 0,9983 |

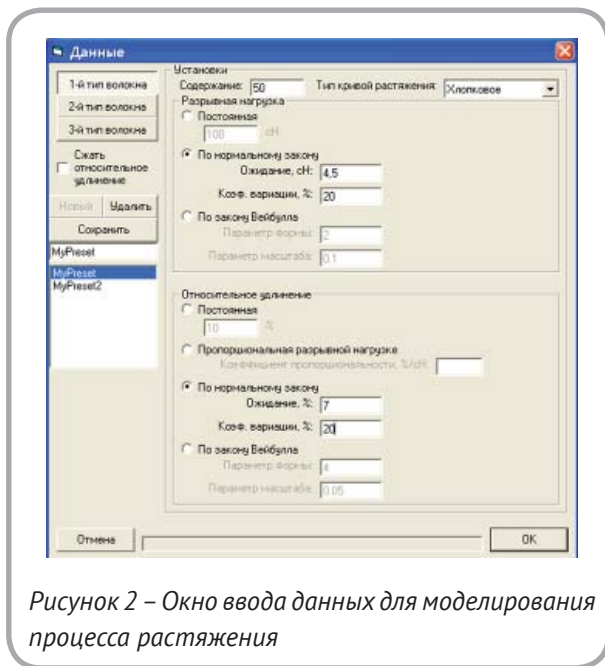


Рисунок 2 – Окно ввода данных для моделирования процесса растяжения

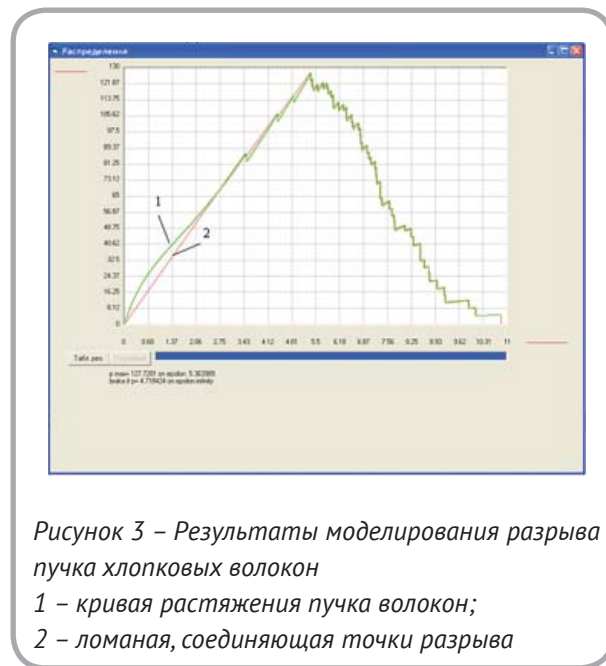


Рисунок 3 – Результаты моделирования разрыва пучка хлопковых волокон

1 – кривая растяжения пучка волокон;  
2 – ломаная, соединяющая точки разрыва

По окончании ввода данных по ним создается пучок волокон и проводится моделирование его разрыва. После выполнения необходимых расчётов выводится кривая разрыва. Под графиком указывается максимальное усилие ( $P_{max}$ ), приложенное к пучку и соответствующее его разрывной нагрузке, и удлинение, а также значения удлинения и усилия, при которых произошел разрыв последнего волокна.

По оси абсцисс диаграммы растяжения откладывается удлинение в процентах, по оси ординат – приложенная нагрузка в сН.

В программе выполняются следующие основные операции: сортировка волокон по возрастанию их разрывного удлинения; расчет приложенного к сечению усилия, при котором произойдет разрыв данного волокна; построение диаграммы растяжения по полученным данным.

Поскольку известны разрывная нагрузка и разрывное удлинение каждого волокна, рас-

пределенные в соответствии с выбранным законом, рассчитывается приложенная к каждому из них нагрузка, соответствующая относительному удлинению пучка в данный момент.

Нагрузка, приложенная к пучку, в каждый момент времени равна сумме усилий, приложенных к каждому из неразорвавшихся волокон в его сечении:

$$P = \sum_{i=m+1}^n P_i, \quad (6)$$

где  $P_i$  – усилие, приложенное к  $i$ -му волокну;  $m$  – количество разорвавшихся волокон;  $n$  – количество волокон в сечении.

Для получения результата моделирования достаточно рассчитать нагрузку по формуле (6) при каждом удлинении пучка без учета разорвавшихся волокон, то есть тех, разрывное удлинение которых меньше текущего удлинения пучка. Таким образом происходит моделирование

растяжения и разрыва пучка волокон заданного типа.

Полученная имитационная модель позволяет определить степень влияния вариации между волокнами пучка относительного удлинения и разрывной нагрузки.

В ходе моделирования выявлено, что вариации значений разрывной нагрузки, распределенной по нормальному закону, не оказывают влияния на форму кривой растяжения пучка и суммарную разрывную нагрузку волокон (рисунок 4). При изменении коэффициента вариации по разрывной нагрузке  $CV_p$  от 0 до 30 % вариация разрывной нагрузки пучка оказалась незначительной и составила 2,82 %.

Существенное влияние на форму диаграмм растяжения оказывает изменение коэффициента вариации по относительному удлинению. В

процессе имитационного моделирования выявлено, что с увеличением коэффициента вариации  $CV_\epsilon$  от 0 до 30 % разрывная нагрузка пучка уменьшалась от 516,79 сН до 237,88 сН (вариация составила 25 %). Полученная зависимость представлена графически на рисунке 5.

Кроме вышесказанного, при изменении коэффициента вариации  $CV_\epsilon$  изменяется начальный модуль упругости и полное удлинение при разрыве (рисунок 6).

Отмечено, что с увеличением коэффициента вариации по относительному удлинению  $CV_\epsilon$  от 0 до 30 % угол наклона касательной к кривой растяжения в начале координат, соответствующий начальному модулю упругости, увеличивается в 1,3 раза, а полное удлинение, соответствующее разрывной нагрузке пучка, уменьшается с 6,2 до 4,4 %.

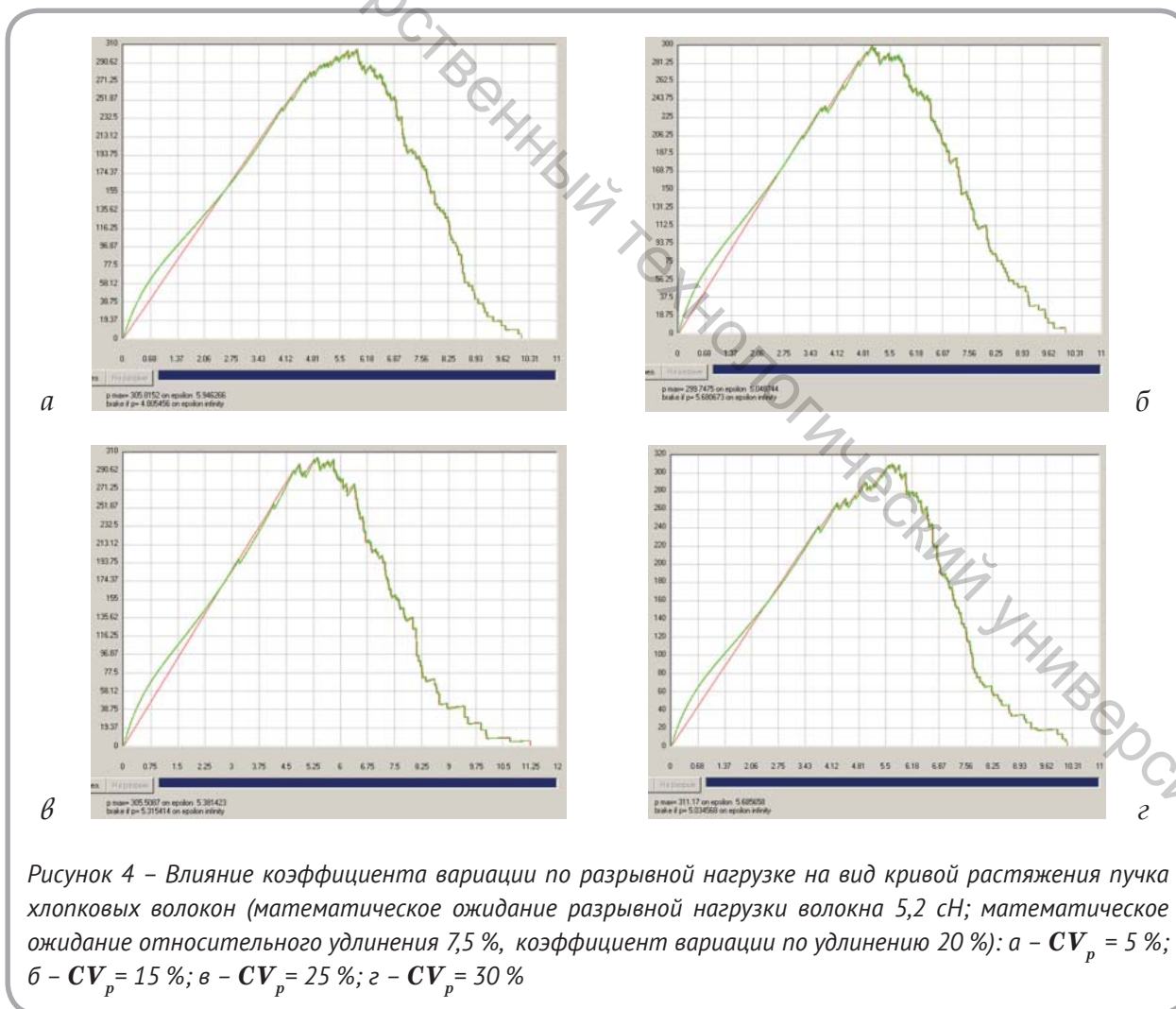


Рисунок 4 – Влияние коэффициента вариации по разрывной нагрузке на вид кривой растяжения пучка хлопковых волокон (математическое ожидание разрывной нагрузки волокна 5,2 сН; математическое ожидание относительного удлинения 7,5 %, коэффициент вариации по удлинению 20 %): а –  $CV_p = 5 \%$ ; б –  $CV_p = 15 \%$ ; в –  $CV_p = 25 \%$ ; г –  $CV_p = 30 \%$

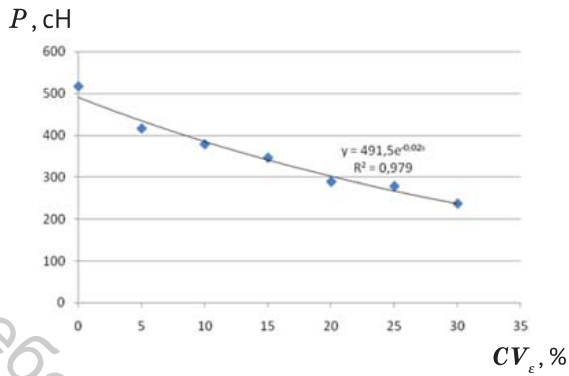


Рисунок 5 – Зависимость разрывной нагрузки пучка хлопковых волокон от коэффициента вариации по относительному удлинению (математическое ожидание разрывной нагрузки волокна 5,2 сН; математическое ожидание относительного удлинения 7,5 %)

### ВЫВОДЫ

1. Разработана модель процесса растяжения волокон различных типов (хлопкового, вискозного, льняного, полиэфирного) с построением диаграмм растяжения. При помощи прикладного пакета Curve Fitting Toolbox определены параметры универсальной математической модели. Полученные зависимости необходимы для повышения точности имитационного моделирования деформирования пучка волокон.

2. Получена имитационная модель процесса растяжения и разрыва пучка волокон на основе данных о растяжении единичных волокон. Проведено исследование влияния вариации между волокнами пучка разрывной нагрузки и разрывного удлинения. Установлено, что существенное влияние на форму диаграмм растяжения оказывает коэффициент вариации

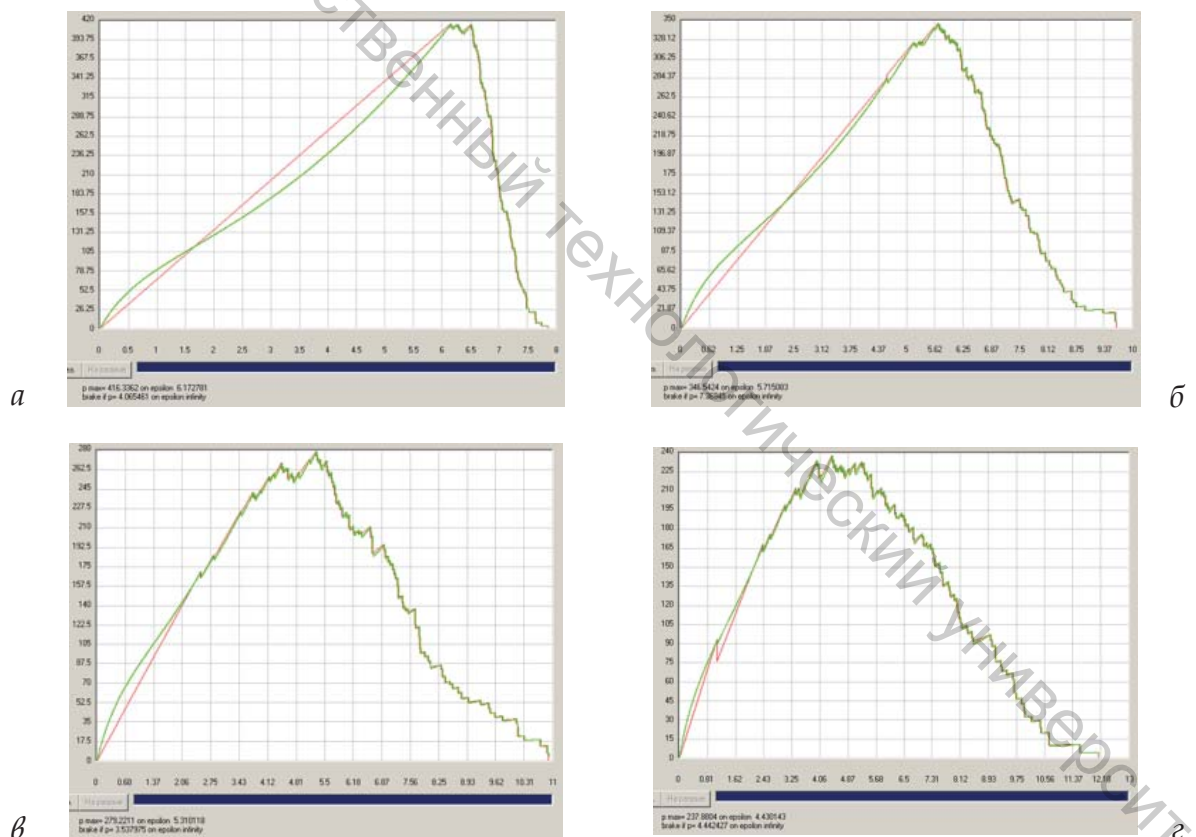


Рисунок 6 – Влияние коэффициента вариации по относительному удлинению на вид кривой растяжения пучка хлопковых волокон (математическое ожидание разрывной нагрузки волокна 5,2 сН, коэффициент вариации 20 %, математическое ожидание относительного удлинения 7,5 %:

а –  $CV_{\epsilon} = 5\%$ ; б –  $CV_{\epsilon} = 15\%$ ; в –  $CV_{\epsilon} = 25\%$ ; г –  $CV_{\epsilon} = 30\%$

по относительному удлинению, с увеличением которого от 0 до 30 % разрывная нагрузка пучка хлопковых волокон уменьшается от 516,79 сН до 237,88 сН, полное удлинение уменьшается с 6,2 до 4,4 % и возрастает начальный модуль упругости.

3. Полученная модель может быть использована при дальнейшем проведении работ по созданию методики прогнозирования физико-механических свойств пряжи.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рыклин, Д. Б. (2010), *Технология и оборудование для приготовления волокнистого настила*, Витебск, ВГТУ, 239 с.
2. Перепелкин, К. Е., Лебедева, Г.Г. (1968), *Методы исследования свойств волокон и нитей*, Ленинград, 79 с.
3. Давыдов, А.Ф. (1997), *Текстильное материаловедение*, Москва, Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности, 168 с.
4. Кузнецов, А.А., Ольшанский В.И. (2004), *Оценка и прогнозирование механических свойств текстильных нитей*, Витебск, ВГТУ, 225 с.
5. Кузнецов, А.А. (2007), Прогнозирование показателей деформационных свойств текстильных нитей по результатам полциклового испытания на растяжение, *Вестник ВГТУ*, Витебск, 2007, № 12, С. 36-41.
6. Кукин, Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.И. (1989), *Текстильное материаловедение (волокна и нити)*, Москва, 352 с.
7. Morton, W.E., Hearle, J.W.S. (2008), *Physical properties of textile fibres*, England, Cambridge, p 765.

#### REFERENCES

1. Ryklin, D.B. (2010), *Tehnologija i oborudovanie dlja prigotovlenija voloknistogo nastila* [Technology and equipment for card mat manufacturing], Vitebsk, UO Vitebskij gosudarstvennyj tehnologičeskij universitet - Educational Institution Vitebsk State Technological University, 239 p.
2. Perepelkin, K. E., Lebedeva, G.G. (1968), *Metody issledovanija svojstv volokon i nitej* [Methods of investigating the properties of fibers and yarns], Leningrad, 79 p.
3. Davydov, A.F. (1997), *Tekstil'noe materialovedenie* [Textile materials science], Moscow, Rossijskij zaochnyj institut tekstil'noj i legkoj promyshlennosti - Russian Correspondence Institute of Textile and Light Industry, 168 p.
4. Kuznetsov, A.A., Ol'shanskij V.I. (2004), *Ocenka i prognozirovanie mehanicheskix svojstv tekstil'nyh nitej* [Estimation and prediction of the mechanical properties of textile yarns], Vitebsk, UO Vitebskij gosudarstvennyj tehnologičeskij universitet - Educational Institution Vitebsk State Technological University, 225 p.
5. Kuznetsov, A.A. (2007), *Prognozirovanie pokazatelej deformacionnyh svojstv tekstil'nyh nitej po rezul'tatam poluciklovogo ispytaniya na rastjazhenie* [Forecasting of deformation properties of textile yarns by results of half-

cycle of the tensile test], *Vestnik VGTU - Bulletin of Vitebsk State Technological University*, Vitebsk, 2007, № 12, pp. 36-41.

6. Kukin, G.N., Solov'ev A.N., Kobljakov A.I. (1989), *Tekstil'noe materialovedenie (volokna i niti)* [Textile materials science (fibers and yarns)], Moscow, 352 p.

7. Morton, W.E., Hearle, J.W.S. (2008), *Physical properties of textile fibres*, England, Cambridge, 765 p.

Витебский государственный технологический университет

Статья поступила в редакцию 13.10.2014 г.