

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДРАПИРУЕМОСТИ ТКАНЕЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ 3D-СКАНИРОВАНИЯ

DEVELOPMENT OF A PROGRAM FOR CALCULATING INDICATORS OF FABRICS DRAPEABILITY BASED ON 3D SCANNING DATA

УДК 677.017

Д.Б. Рыклин*, Сяотун Тан, К.А. Крушевич

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24411/2079-7958-2020-13811>**D. Ryklin***, X. Tang, K. Krushevich

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ДРАПИРУЕМОСТЬ, 3D-СКАНИРОВАНИЕ, ЛЬНЯНАЯ ТКАНЬ, ПРОГРАММА

Цель работы – разработка программы для автоматизации процессов обработки результатов 3D-сканирования проб драпированной ткани с целью оценки их драпируемости. Для создания программы DrapeCalculator выбран язык программирования Python. Разработанная программа позволяет получать коэффициенты регрессионных моделей, описывающих форму поверхности драпированных проб и профилей отдельных их сечений, а также значения показателей драпируемости. Апробация программы показала, что результаты расчетов, произведенных с использованием разработанной программы, отличаются незначительно от результатов, получаемых при ручном способе подготовки данных, в случае усреднения данных 3D-сканирования трех проб драпированных тканей. Применение программы DrapeCalculator позволяет снизить затраты времени на обработку результатов 3D-сканирования более чем в 40 раз.

ABSTRACT

DRAPEABILITY, 3DSCANNING, LINEN FABRIC, PROGRAM

The paper is devoted to the development of a program for automating of the 3D scanning results processing of draped fabrics samples in order to assess their drapeability. Programming language Python is chosen to develop the program DrapeCalculator. The developed program allows obtaining coefficients of regression models describing the surface of draped samples shape and the profiles of their individual cross-sections, as well as the values of drape indicators. Testing the program showed that the results of calculations made using the developed program differ slightly from the results obtained with the manual method of data preparation in the case of averaging 3Dscanning data of three samples of draped fabrics. The use of the program DrapeCalculator allows to reduce the time required to process the results of 3D scanning by more than 40 times.

В настоящее время перспективным направлением разработки методов оценки драпируемости тканей является использование технологии 3D-сканирования. Анализ источников [1–4] показал, что применение подобных технологий дает возможность получать разнообразные данные для оценки драпируемости тканей на основе анализа их трехмерных моделей драпированных проб.

Основными преимуществами 3D-сканирова-

ния является возможность получения истинного трехмерного изображения драпированной ткани, а также анализа ее текстуры.

В статье [3] отмечается целесообразность создания специального программного обеспечения для обработки изображения драпированных проб, в которой предложен метод, заключающийся в переводе информации о драпировке тканей в виртуальную трехмерную среду, где осуществляется определение параметров скла-

* E-mail: ryklin-db@mail.ru (D. Ryklin)

док и сопоставление реальных и смоделированных проб. Отмечается, что обработка данных в виртуальной среде создает возможности для введения новых критериев оценки драпируемости.

Однако на сегодняшний день комплексные показатели, характеризующие форму драпированных тканей, разработаны недостаточно детально.

В работе [4] предложен критерий, который дает более явную характеристику драпируемости по сравнению со стандартными методами, так как он позволяет выявить различия в степени драпируемости различных проб, характеризующихся одинаковым коэффициентом драпируемости. Но данный критерий не характеризует равномерность образования складок, а также их форму (округлость или заостренность).

С учетом актуальности рассматриваемой проблемы в работе [5] была поставлена задача разработки новой методики оценки драпируемости тканей на основе анализа результатов 3D-сканирования. В процессе решения задачи доказана возможность математического описания поверхности драпированной пробы текстильного полотна на основании статистической обработки результатов ее 3D-сканирования [5].

Однако описанный в работе [5] метод оценки драпируемости тканей имеет следующие недостатки:

- трудоемкость получения данных для статистической обработки;

- высокая погрешность определения расстояний от оси опорного диска до точек на поверхности драпированной пробы, связанная с неточностью определения их местоположения, а также с погрешностью измерения;

- высокая погрешность определения коэффициента драпируемости, возникающая при обводке контура тени, вырезании и взвешивании.

Указанные недостатки не позволяют эффективно использовать новый метод оценки драпируемости тканей в производственной и научно-исследовательской деятельности.

Целью работ, описываемых в данной статье, является разработка компьютерной программы, которая позволит в автоматическом режиме осуществлять обработку результатов сканирования с построением математической модели и расчет

всех показателей драпируемости, что приведет к устранению указанных выше недостатков.

Для достижения поставленной цели был решен ряд задач, связанных с автоматизацией процессов извлечения данных из файла, получаемого в результате 3D-сканирования, их статистической обработки, а также с последующей апробацией разработанной программы при оценке драпируемости льняных и льносодержащих тканей.

В результате сканирования пробы формируется файл в формате STL, который представляет собой набор из большого количества полигонов, состоящих, в свою очередь, из трех точек. В связи с этим при разработке программы на первом этапе необходимо было решить задачу об извлечении данных из полученного файла.

Учитывая значительное количество получаемых точек, превышающее 120000, программа извлекает координаты точек на поверхности сканированной пробы прямо из полигонов, составляющих файл.

Обработка данных осуществляется для отдельных слоев с последующим объединением полученных результатов в одну модель, описывающую поверхность пробы.

Для каждого исследуемого сечения, расположенного на расстоянии H от опорного диска, осуществляется определение коэффициентов следующей модели:

$$R_D = R_0 + \Delta R_1 \left(\frac{1 + \sin(n \cdot \varphi + \Delta \varphi_1)}{2} \right)^{k_1} + \Delta R_2 \left(\frac{1 + \sin(2 \cdot \varphi + \Delta \varphi_2)}{2} \right)^{k_2}, \quad (1)$$

где R_D – расстояние от оси опорного диска до точки на поверхности пробы, измеренное под углом φ относительно направления основы ткани, m, m ; R_0 – радиус окружности, вписанной в сечение драпированной ткани, m, m ; ΔR_1 – высота складки без учета анизотропии ткани по свойствам, m, m ; ΔR_2 – отклонение высоты складки из-за анизотропии свойств ткани, m, m ; n – количество формируемых складок; k_1 и k_2 – показатели степени, которые характеризуют искажение формы сечения складок по сравнению с принятой ранее за основу синусоидой; $\Delta \varphi_1$ и $\Delta \varphi_2$ – начальные фазы периодических составляющих

формулы (1).

В качестве дополнительного показателя драпируемости тканей предложено использовать коэффициент детерминации, характеризующий соответствие регрессионной модели (1) результатам 3D-сканирования [6].

Поверхность драпированной ткани при количестве складок, равном n , описывается следующей формулой:

$$R_d(\varphi, H) = (a_0 + a_1 \cdot H) + (a_2 + a_3 \cdot H) \left(\frac{1 + \sin(n \cdot \varphi + \Delta\varphi_1)}{2} \right)^{(a_4 + a_5 \cdot H)} + (a_6 + a_7 \cdot H) \left(\frac{1 + \sin(2 \cdot \varphi + \Delta\varphi_2)}{2} \right)^4. \quad (2)$$

Полученная модель содержит 8 эмпирических коэффициентов a_0 – a_7 , которые зависят как от параметров процесса испытания ткани (например, от радиуса образца и радиуса опорного диска), так и от свойств испытываемой ткани (поверхностной плотности, плотности по основе и утку, жесткости нитей основы и утка, переплетения и так далее).

В связи с этим после проведенной операции извлечения данных из всей совокупности точек выделяются только те, для которых можно определить принадлежность каждому из рассматриваемых сечений. Количество сечений и диапазон, определяющий расстояние от нижнего до верхнего сечения, задаются заранее до начала обработки данных. В ходе экспериментальных исследований установлено, что наиболее достоверные значения получаются в диапазоне H от 15 до 25 мм.

Принадлежность точки конкретному слою определяется с учетом заданного допуска по оси Z , составляющего $\pm 0,25$ мм, что приблизительно соответствует среднему диаметру льняной пряжи линейной плотности 80 текс.

Количество точек, попадающих в каждое сечение, зависит от размеров образца и опорного диска, расстояния от опорного диска до исследуемого сечения, а также от структуры ткани. Для исследованных образцов количество точек в сечении составило от 492 до 2428. В связи с этим оказалось невозможным осуществить обработку данных, разбивая сечение на заданное количе-

ство углов, например, на 24 или 72 угла, как было принято при ручном способе обработки. С другой стороны, важно отметить, что положение каждой точки определялось с некоторой погрешностью, зависящей как от ее нахождения в пределах указанного выше допуска, так и от структуры тканей.

В связи с этим было принято решение разделять сечение на секторы со значительно меньшим центральным углом и проводить усреднение расстояний от оси опорного диска до выявленных точек на поверхности пробы, попадающих в данный сектор. В разработанной программе разделение сечения осуществляется на 128 секторов с центральным углом 2,8125 градуса. В этом случае в каждый сектор попадает от 3 до 20 точек, что позволяет получать усредненные значения с достаточной точностью.

При расчете коэффициента драпируемости осуществлялся расчет площади тени, создаваемой пробой, как сумма площадей отдельных секторов по формуле Герона. В данном расчете учитывались координаты точек, находящихся на наибольшем расстоянии от оси опорного диска во всех направлениях.

Одной из важных решаемых проблем являлось определение местоположения оси опорного диска, или центрирования пробы, так как обработка результатов сканирования и построение математической модели поверхности пробы осуществлялись в полярных координатах. Необходимо отметить, что от решения данного вопроса существенно зависят результаты статистической обработки данных, полученных при 3D-сканировании.

На рисунке 1 представлены профили сечений одной и той же пробы ткани. Варианты a и b получены при обработке со смещением оси опорного диска относительно начала координат в полярной системе, а вариант $в$ – при их совмещении.

Необходимо отметить, что профили сечений во всех трех вариантах одинаковы. Расчетное значение коэффициента драпируемости, рассчитываемого по формуле, приведенной в стандарте ИСО 9073-9:2008, во всех случаях составило приблизительно 60,5 %, при этом различия в расчетных значениях, приведенные в таблице 1, могут объясняться только статистической ошибкой. Таким образом, положение оси опорного

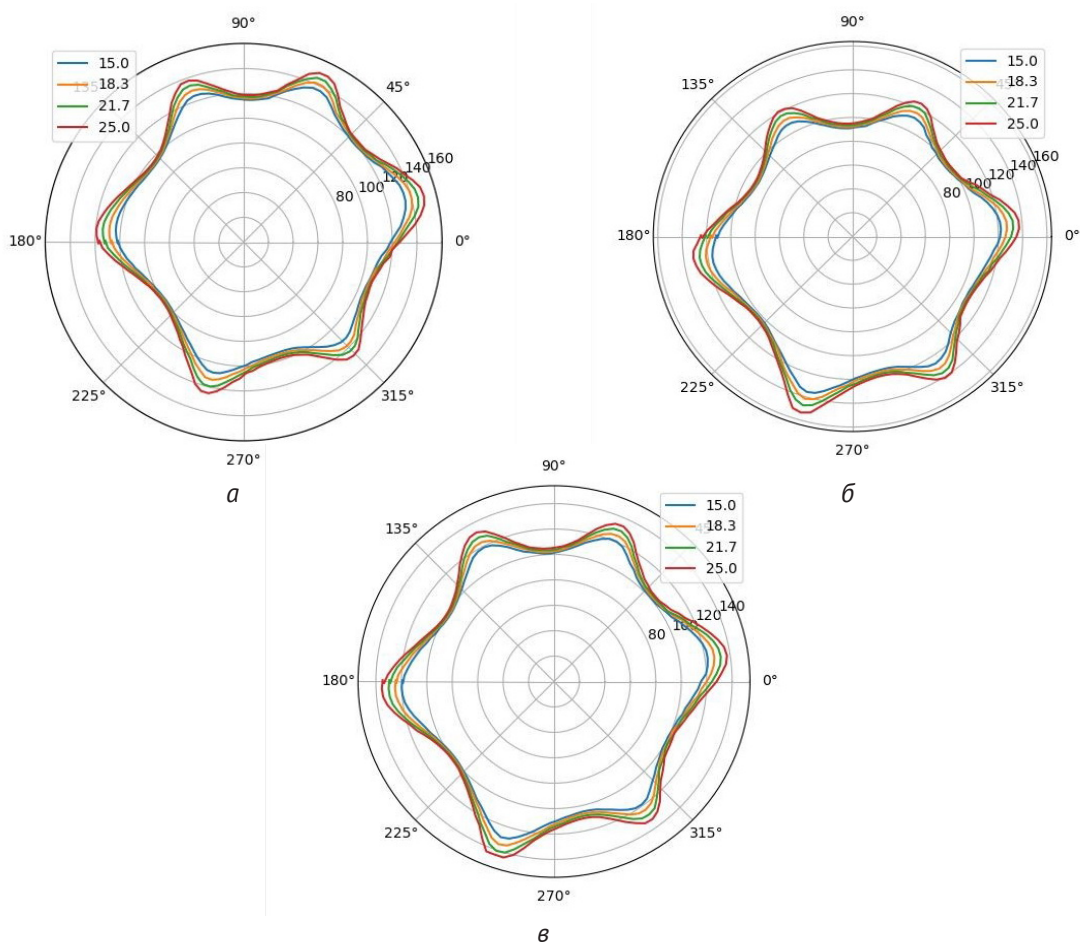


Рисунок 1 – Профили сечений пробы при разном положении оси прижимного диска

Таблица 1 – Показатели драпируемости, определенные для пробы при различных положениях оси опорного диска

Наименование показателя	Обозначение варианта на рисунке 1		
	а	б	в
Коэффициент драпируемости K_d , %	60,5663	60,5469	60,5415
Коэффициент детерминации регрессионной модели R^2 , определенный для сечения, находящегося на расстоянии 25 мм от опорного диска	0,077	0,073	0,699

диска не оказывает значительного влияния на расчетное значение коэффициента драпируемости. Однако несовпадение оси опорного диска с началом координат в полярной системе существенно влияет на другие показатели драпируемости, рассчитываемые программой.

Центрирование пробы в программе осуще-

ствляется с помощью прижимного диска, который по своим размерам совпадает с опорным диском. При проведении операции центрирования в расчет принимаются не все точки на боковой поверхности диска, а только те, которые попадают в определенное его сечение. Так как в процессе сканирования пробы прижимной диск

1 (рисунок 2) также попадает в область сканирования, программа на основе использования итерационного метода подгонки, описанного в работе [7], может определить такое положение его оси, при котором точки на поверхности диска находятся на одинаковом расстоянии от цен-

тра окружности выбранного сечения 2.

Так как ткань обладает определенной упругостью, а масса прижимного диска невелика, в месте контакта диск может располагаться не горизонтально, из-за чего при сканировании профиль его сечения в верхней и нижней частях

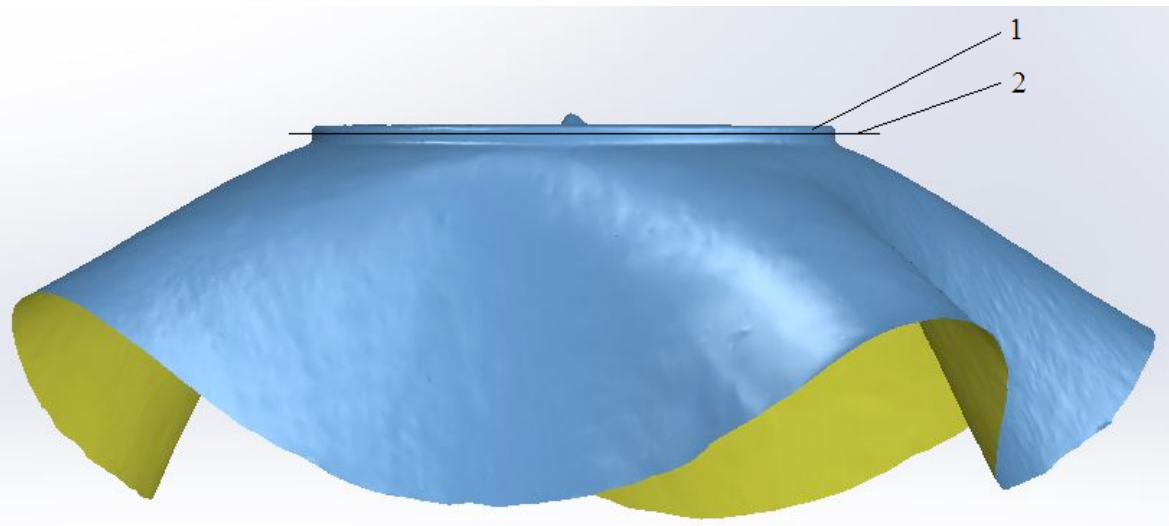


Рисунок 2 – Определение сечения диска, используемого для центрирования пробы

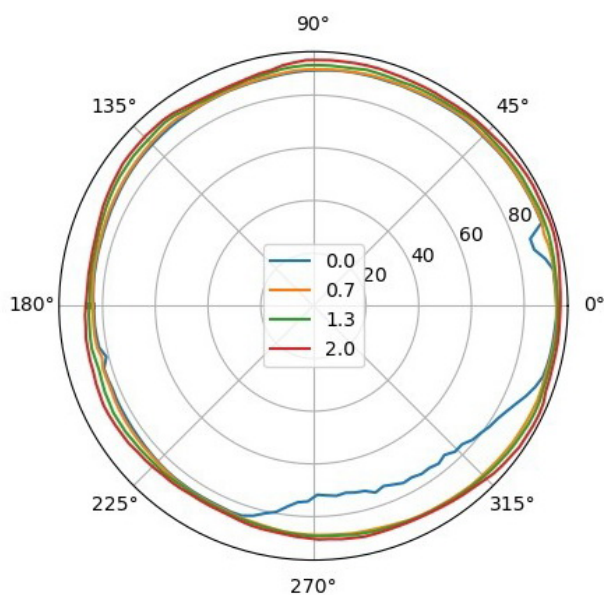


Рисунок 3 – Результаты сканирования прижимного диска на разных расстояниях от поверхности ткани

диска может отображаться с искажениями (рисунок 3). Установлено, что центрирование целесообразно осуществлять со смещением относительно поверхности ткани на 1,5–2 мм.

После центрирования пробы осуществляется поиск коэффициентов модели (1) для каждого из сечений методом наименьших квадратов, а далее расчет коэффициентов a_0 – a_7 , определяющих влияние расстояния от сечения пробы до опорной плоскости на профиль ее сечения.

Для каждого сечения определяется коэффициент детерминации регрессионной модели $R^2(H)$. Кроме того, для поверхности пробы коэффициент детерминации модели (2) рассчитывается с учетом определенных коэффициентов a_0 – a_7 .

Для создания программы DrapeCalculator выбран язык программирования Python. Выходные данные формируются в два файла, один из которых в формате *.csv содержит информацию о точках на поверхности драпированной пробы, а второй – в формате *.xlsx представляет собой электронную таблицу с параметрами регрессионной модели, описывающей поверхность пробы, а также с рассчитанными значениями показателей драпируемости.

Рассмотрим результаты работы программы на примере обработки данных 3D-сканирования проб двух образцов льняной ткани артикула И14С176-ШР полотняного переплетения, одна из которых была подвергнута стирке с добавлением ферментного препарата Vactosol фирмы Archroma и последующим полосканием в мягчителе TUBINGAL SMF производства фирмы СHT [8].

Для испытанных проб получены следующие модели, описывающие их поверхности:

– для варианта 1 (неумягченного):

$$R_d(\varphi, H) = (97,00 + 0,932 \cdot H) + (1,46 + 1,159 \cdot H) \times \left(\frac{1 + \sin(6 \cdot \varphi + 0,450)}{2} \right)^{(1,318 + 0,0088 \cdot H)} + (-1,22 + 0,447 \cdot H) \cdot \left(\frac{1 + \sin(2 \cdot \varphi - 1,157)}{2} \right)^4; \quad (3)$$

– для варианта 2 (умягченного):

$$R_d(\varphi, H) = (93,44 + 0,408 \cdot H) + (3,44 + 0,993 \cdot H) \times \left(\frac{1 + \sin(6 \cdot \varphi - 1,554)}{2} \right)^{(1,196 + 0,0186 \cdot H)} + (3,90 + 0,026 \cdot H) \cdot \left(\frac{1 + \sin(2 \cdot \varphi + 1,049)}{2} \right)^4. \quad (4)$$

Результаты аппроксимации горизонтальных сечений проб с использованием программы DrapeCalculator представлены на рисунке 4.

Складки умягченной ткани (вариант 2) в большей степени соответствуют полученной регрессионной модели, что подтверждается рассчитанными значениями коэффициентов детерминации R^2 , приведенными в таблице 2. Также можно отметить, что умягчение привело к снижению коэффициента драпируемости, что является вполне ожидаемым результатом.

Таким образом, одним из возможных направлений использования разработанной программы является оценка эффективности процессов заключительной отделки тканей.

Оценка достоверности результатов расчетов, проводимых программой DrapeCalculator, осуществлена посредством их сопоставления с результатами, полученными при ручном способе подготовки данных к статистической обработке, заключающемся в вырезании из бумаги профилей сечений пробы, их разметки и измерении расстояния от оси опорного диска до точек на поверхности тканей.

При определении коэффициента драпируемости с использованием ручного способа согласно стандарту ИСО 9073-9:2008 тень испытуемого образца проецируется на бумажное кольцо известной массы и такого же размера, как неподдерживаемая часть образца. Очертание тени оставляет след на бумажном кольце, и по контуру следа разрезают бумагу. Коэффициент драпируемости представляет собой массу незатененной части бумажного кольца, выраженную в процентах от массы целого бумажного кольца.

Степень совпадения результатов обработки данных различными методами можно оценить, анализируя графики, представленные на рисунках 5 и 6. При проведении расчетов использовались результаты сканирования проб пяти умяг-

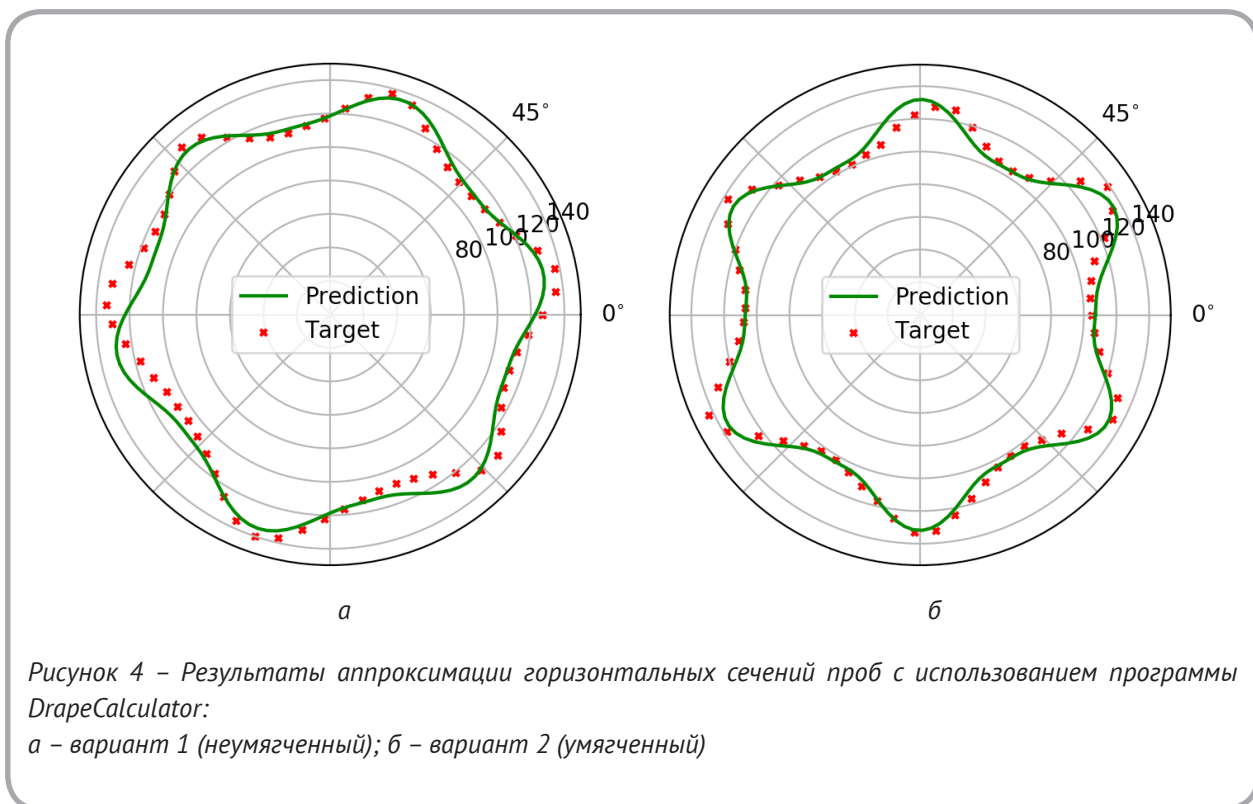


Таблица 2 – Показатели драпируемости, определенные с помощью программы DrapeCalculator

Вариант	Расстояние от опорной плоскости до исследуемого сечения H , мм	Коэффициент драпируемости K_D , %	Коэффициент детерминации модели R^2
1	15	78,8	0,61
2	25	56,3	0,85

ченных и двух неумягченных тканей. Из каждого образца ткани подготавливались три пробы диаметром 300 мм, которые сканировались по 1 разу.

Испытаниям подвергались ткани полотняного и вафельного переплетения, а также двухслойные ткани с соединением слоев по контуру рисунка. В зависимости от жесткости тканей использовались разные сочетания диаметров пробы и опорного диска (300 мм / 180 мм и 200 мм / 80 мм). Общее количество исследованных проб составило 102.

Анализируя представленные результаты, можно отметить, что для каждого из определяемых показателей драпируемости существует явная взаимосвязь значений, определенных при использовании ручного способа подготовки

данных к статистической обработке и разработанной программы. Эта связь подтверждается рассчитанными значениями коэффициентов корреляции:

- для коэффициента драпируемости K_D $r = 0,98$;
- для коэффициента детерминации регрессионной модели R^2 $r = 0,99$.

Все показатели драпируемости изменялись в достаточно большом диапазоне, что свидетельствует о высокой чувствительности определяемых показателей драпируемости к свойствам испытываемых тканей.

Среднее значение коэффициента драпируемости, рассчитанного с использованием программы DrapeCalculator, составило 63,24 %, а при ручном методе подготовки данных –

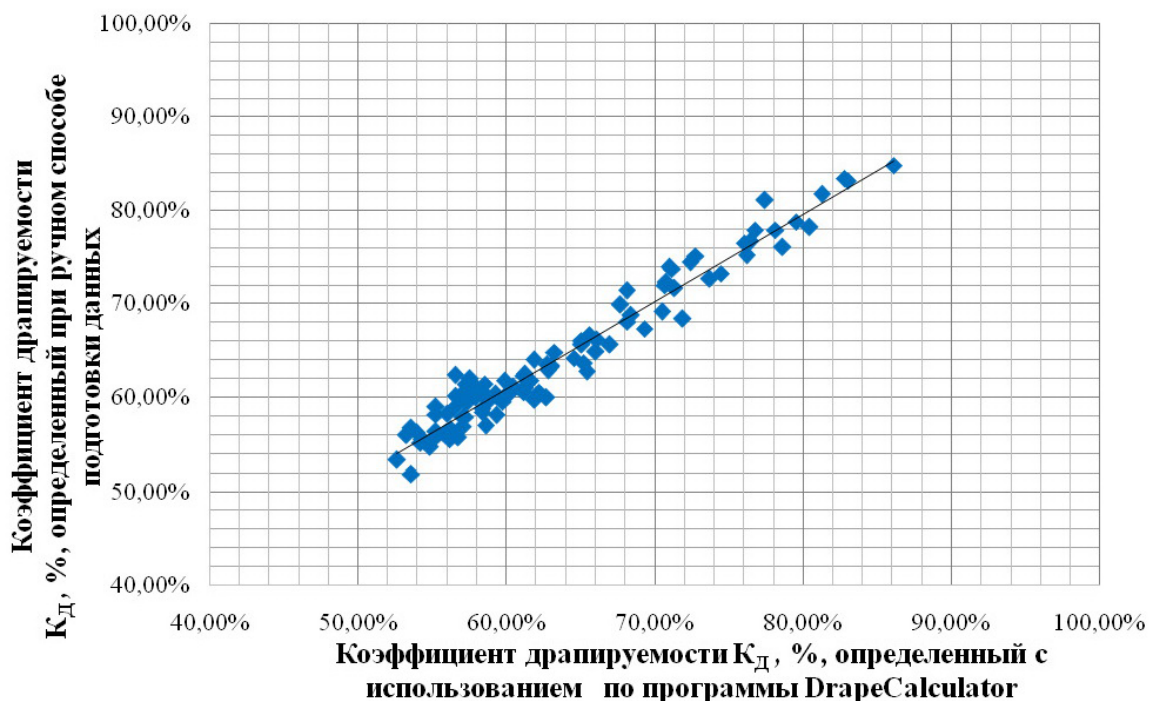


Рисунок 5 – Сопоставление единичных значений коэффициента драпируемости, полученного разными методами

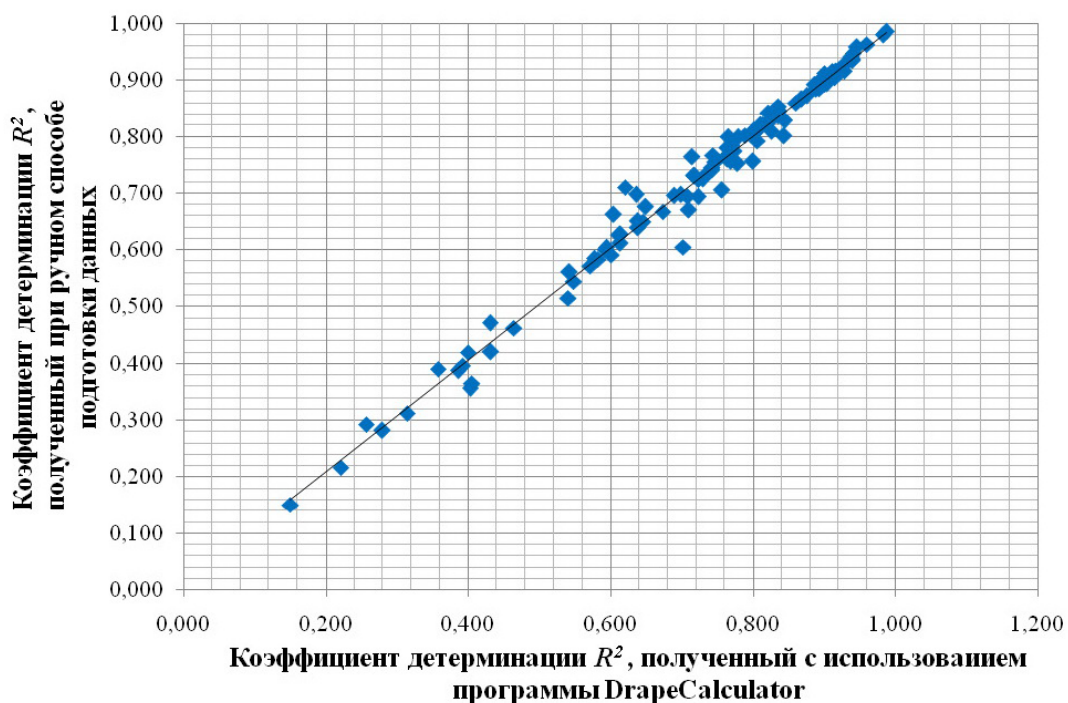


Рисунок 6 – Сопоставление единичных значений коэффициента детерминации регрессионной модели, полученного разными методами

63,78 %.

Однако на графиках можно увидеть достаточно существенные отклонения единичных значений показателей, определенных различными методами. Эти отклонения связаны с погрешностями, которые были отмечены ранее. Анализ результатов показал, что на отклонение значений показателей не влияют жесткость тканей и их структура.

С учетом того, что в соответствии со стандартом ИСО 9073-9:2008 коэффициент драпируемости определяется по результатам испытания 3 проб, представляет интерес оценка отклонения результатов обработки данных, полученных двумя методами, а затем усредненных по трем испытаниям. Сопоставление усредненных значений графически представлено на рисунках 7 и 8.

Из рисунков видно, что разница усредненных значений показателей драпируемости существенно снизилась по сравнению с единичными значениями.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что применение разрабо-

танной программы позволяет получать с достаточной точностью значения всех показателей драпируемости, которые определялись при использовании ручного метода подготовки данных для статистической обработки.

Апробация программы показала существенное сокращение временных затрат на обработку результатов 3D-сканирования.

На определение коэффициента драпируемости одной пробы традиционным методом, заключающемся в нанесении на бумагу разметки, вырезании кольца и тени, взвешивании и вычислении показателя, требуется около 5 минут, соответственно, для трех проб – 15 минут.

Затраты времени на сбор данных, необходимых для получения регрессионной модели каждого сечения драпированной пробы, составляют около 10 минут при разбиении его на 24 сектора, в том числе 7 минут на разметку и измерение отрезков, 3 минуты на занесение данных в таблицу программы Statistica for Windows и последующую статистическую обработку.

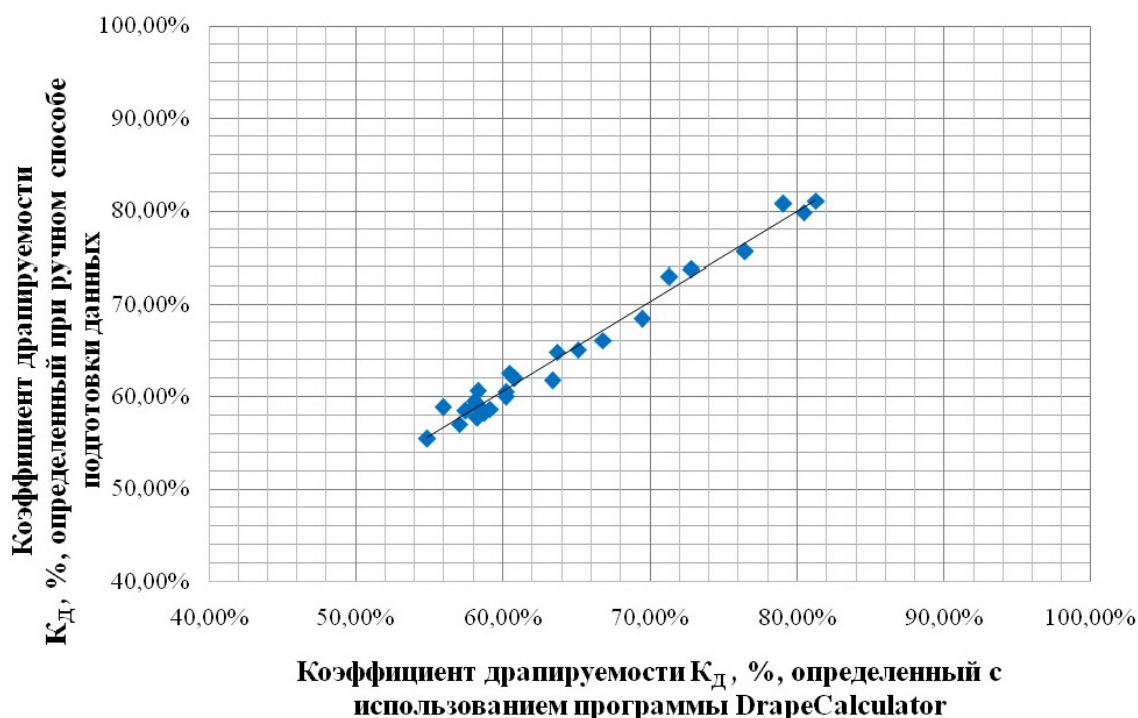


Рисунок 7 – Сопоставление усредненных значений коэффициента драпируемости, полученного разными методами

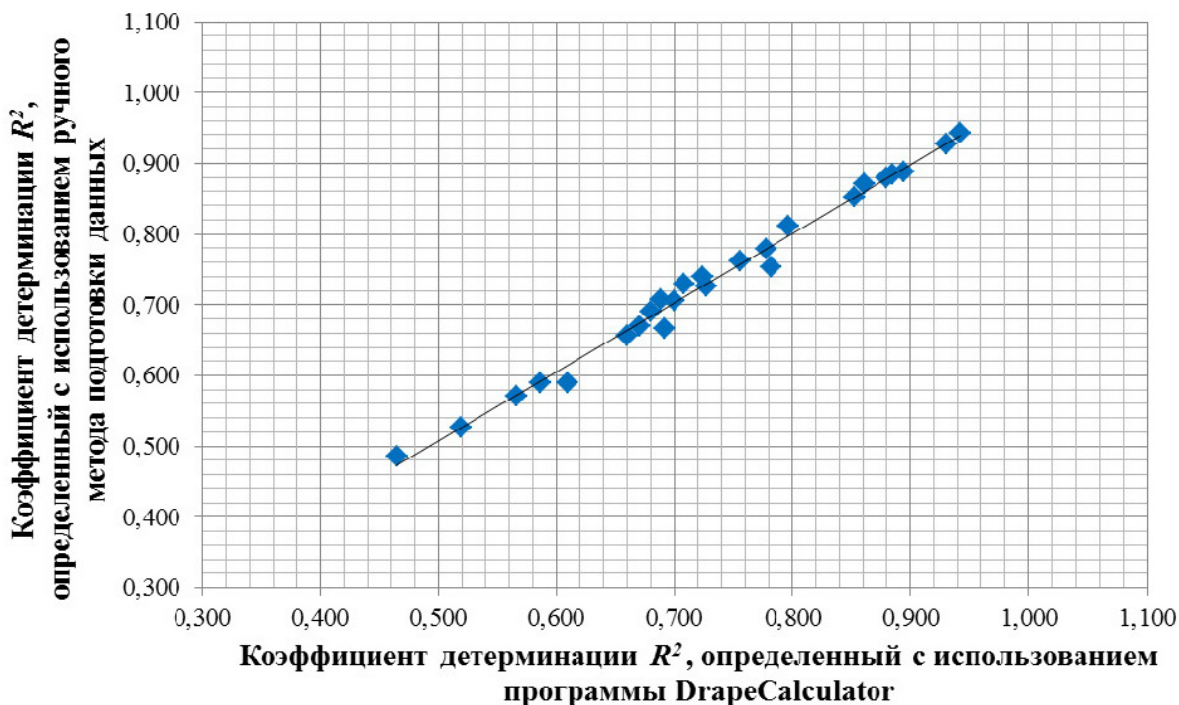


Рисунок 8 – Сопоставление усредненных значений коэффициента детерминации регрессионной модели, полученного разными методами

Так как для получения модели поверхности требуется проведение обработки данных о четырех сечениях драпированной пробы, а количество испытанных проб в соответствии со стандартом должно быть равно трем, приведенные затраты времени возрастают в 12 раз и составляют 2 часа.

При использовании программы DrapeCalculator время на обработку результатов 3D-сканирования находится в пределах 1,5–2 минут, соответственно, для трех проб – около 5 минут.

Таким образом, программа DrapeCalculator позволяет снизить затраты времени на обработку результатов 3D-сканирования более чем в 40 раз.

ВЫВОДЫ

1. Разработана программа DrapeCalculator для автоматизации процессов обработки результатов 3D-сканирования проб драпированной ткани с целью определения значений показателей, характеризующих их драпируемость.

2. Апробация программы показала, что результаты расчетов, произведенных с использованием разработанной программы, отличаются

незначительно от результатов, получаемых при ручном способе подготовки данных, в случае усреднения данных 3D-сканирования трех проб драпированных тканей.

3. Применение программы DrapeCalculator позволяет снизить затраты времени на обработку результатов 3D-сканирования более чем в 40 раз.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шен, В., Рен, Ц. (2014), Испытания драпируемости ткани на основе датчика Kinect, *Журнал Чжэцзянского университета науки и технологии*, 2014, vol. 31, № 3, С. 306–309. (沈. 伟, 任. 静. 2014基于Kinect传感器的织物悬垂性测试, *中国, 浙江理工大学学报*, 第31卷, 第3期, 306–309页).
2. Glombikova, V., Kus, Z. (2014), Drape evaluation by the 3d drape scanner, *Tekstil ve konfeksiyon*, 2014, 24 (3), pp. 279–285.
3. Tannie Mah, Guowen Song (2010), An investigation of the assessment of fabric drape using three-dimensional body scanning, *The Journal of The Textile Institute*, 2010, vol. 101, № 4, pp. 324–335.
4. Kenkare, N., Lamar, T. A. M., Pandurangan, P., Eischen, J. (2006), Enhancing accuracy of drape simulation. Part I: Investigation of drape variability via 3D scanning, *The Journal of the Textile Institute*, 2006, vol. 99, № 3, pp. 211–218.
5. Рыклин, Д. Б., Тан, С., Гришаев, А. Н., Песковский, Д. В. (2018), Разработка математической модели драпированной ткани с использованием данных, получаемых в процессе 3D-сканирования, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2018, № 1 (34), С. 70–78.
6. Рыклин, Д. Б., Тан, С., Гришаев, А. Н., Песковский, Д. В. (2018), Оценка драпируемости льняных тканей с использованием 3D-сканирования, *Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности*, 2018, С. 84–86.
7. Wang H.-S., Zhang Q., Wang F. (2013), Iterative circle fitting based on circular attracting factor, *Journal of Central South University*, 2013, vol. 20, pp. 2663–2675.
8. Скобова, Н. В., Ясинская, Н. Н., Котко, К. А.

REFERENCES

1. Shen, V., Ren, Ts. (2014), Kinect Sensor Fabric Drape Test [Ispytaniya drapiruемости tkani na osnove datchika Kinect], *Zhejiang University Journal of Science and Technology*, 2014, vol. 31, №3, pp. 306–309. (沈. 伟, 任. 静. 2014基于 Kinect传感器的织物悬垂性测试, *中国, 浙江理工大学学报*, 第31卷, 第3期, 306–309页).
2. Glombikova, V., Kus, Z. (2014), Drape evaluation by the 3d drape scanner, *Tekstil ve konfeksiyon*, 2014, 24 (3), pp. 279–285.
3. Tannie Mah, Guowen Song (2010), An investigation of the assessment of fabric drape using three-dimensional body scanning, *The Journal of The Textile Institute*, 2010, vol. 101, № 4, pp. 324–335.
4. Kenkare, N., Lamar, T. A. M., Pandurangan, P., Eischen, J. (2006), Enhancing accuracy of drape simulation. Part I: Investigation of drape variability via 3D scanning, *The Journal of the Textile Institute*, 2006, vol. 99, № 3, pp. 211–218.
5. Ryklin, D., Tang, X., Grishaev, A., Piaskouski, D. (2018), Development of mathematical model of draped fabric with use of 3-D scanning data [Razrabotka matematicheskoy modeli drapirovannoj tkani s ispol'zovaniem dannyh, poluchaemyh v processe 3D-skanirovaniya], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2018, № 1 (34), pp. 70–78.
6. Ryklin, D., Tang, X., Grishaev, A., Piaskouski, D. (2018), Evaluation of drape ability of linen fabrics with use of 3-D scanning [Ocenka drapiruемости l'nyanyh tkanej s ispol'zovaniem 3D-skanirovaniya], *Innovacionnye tekhnologii v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti – Innovative technologies in textile and light industry*, 2018, pp. 84–86.

(2019), Умягчающая отделка льняных постельных тканей, *Материалы докладов 52-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, УО «ВГТУ», 2019б том 1, С. 314–316.*

7. Wang H.-S., Zhang Q., Wang F. (2013), Iterative circle fitting based on circular attracting factor, *Journal of Central South University*, 2013, vol. 20, pp. 2663–2675.

8. Skobova, N. V., Yasinskaya, N. N., Kotko, K. A. (2019), The softening finishinf of linen bedding [Umyagchayushchaya otdelka l'nyanyh postel'nyh tkanej], *Proceedings of the 52nd International scientific and technical conference of teachers and students, EI «VSTU», 2019, vol. 1, pp. 314–316.*

Статья поступила в редакцию 24. 03. 2020 г.