

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДРАПИРОВАННОЙ ТКАНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ 3D-СКАНИРОВАНИЯ

### DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF DRAPED FABRIC WITH USE OF 3-D SCANNING DATA

Д.Б. Рыклин\*, С. Тан, А.Н. Гришаев,  
Д.В. Песковский

Витебский государственный технологический университет

УДК 677.017

D. Ryklin\*, X. Tang, A. Grishaev,  
D. Piaskouski

Vitebsk State Technological University

#### РЕФЕРАТ

*ДРАПИРУЕМОСТЬ, 3D-СКАНИРОВАНИЕ, ЛЬНЯНАЯ ТКАНЬ*

Целью данной работы являлось определение возможности построения математической модели поверхности драпированного образца текстильного полотна по результатам 3D-сканирования.

В качестве объекта исследований была выбрана чистольняная ткань, обработанная силиконовым смягчителем. При проведении исследований проведено 3D-сканирование ткани с последующей статистической обработкой полученных данных для 5 сечений образца, находящихся на различных расстояниях от опорного диска.

Осуществлен подбор вида математической модели, с достаточно высокой точностью описывающей профили сечений драпированной ткани.

По итогам полученных результатов построена математическая модель поверхности драпированной ткани, коэффициенты которой зависят от ее состава и структуры.

#### ABSTRACT

*DRAPEABILITY, 3D-SCANNING, LINNEN FABRIC*

The aim of the paper is to determine of possibility of draped fabrics mathematical model obtaining on the base of 3D-scanning results.

The subject of the investigation was linen fabric treated by silicone softening agent. During the research this fabric was scanned with obtaining array of data for further statistical processing.

Type of the mathematical model was selected for describing of draped fabric cross-section contour on the different distances from supporting disc with high precision.

Summarizing the obtained results a mathematical model of the surface of draped fabrics was obtained with coefficients which depend on their composition and structure.

В настоящее время существенно возрос интерес к разработке новых методов оценки драпируемости тканей различного состава и структуры. Данный интерес связан с возникновением и активным развитием новых областей применения показателей драпируемости. Одной из таких областей является создание систем автоматизированного проектирования (моделирования) швейных изделий. Современные программные

продукты, применяемые для этих целей, при визуализации изделия кроме цветовых характеристик используемых материалов учитывают их жесткость, которая проявляется в формировании складок различной формы, что напрямую связано с драпируемостью полотен. Другая перспективная область применения информации о драпируемости – это разработка интерактивных (электронных) примерочных, позволяющих

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

визуализировать внешний вид одежды на конкретном человеке без непосредственной примерки [1]. Работы по данным направлениям в настоящее время осуществляются ведущими зарубежными текстильными исследовательскими центрами [2–5].

Важно также отметить, что драпируемости льняных тканей уделяется меньшее внимание по сравнению с тканями другого состава. Оценка потребительских свойств льняных тканей является актуальной задачей для текстильной промышленности Республики Беларусь, так как лен является единственным отечественным видом натурального сырья. Современный ассортимент льняной и льносодержащей пряжи, а также тканей на их основе, выпускаемых РУПТП «Оршанский льнокомбинат», чрезвычайно разнообразен и характеризуется широким диапазоном показателей, оказывающих влияние на драпируемость. Кроме того, современные методы заключительной отделки существенно снижают жесткость и сминаемость льняных тканей, в связи с чем повышается интерес к оценке их драпируемости.

Стандартом ISO 9073-9:2008 устанавливаются методы испытаний, используемые для определения коэффициента драпируемости полотен (нетканых, тканых и трикотажных).

Согласно данному стандарту испытуемый круглый образец полотна удерживают в горизонтальном положении между двумя концентрическими дисками меньшего диаметра, чем образец, при этом верхний диск дает возможность полотну упасть складками вокруг нижнего опорного диска. Имеются два метода оценки:

1. Метод А, использующий бумажные кольца. Тень испытуемого образца падает снизу 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 той части бумажного кольца, которая была затенена, и выражается в процентах от массы целого бумажного кольца.

2. Метод В, использующий технологию обработки изображений. Тень испытуемого образца падает снизу на белый лист, покрывающий верх просвечивающей крышки и расположенные по

центру пластины. Подробные количественные данные о драпируемости образца получают по цифровым изображениям, снятым цифровой камерой или сканером после разрезания бумаги по контуру тени.

Можно обратить внимание на то, что даже в случае использования современных технических средств стандартные методы предполагают изучение не поверхности драпированного образца, а только профиля его тени.

Согласно стандарту, в зависимости от использованного метода можно определить значения определенного количества показателей драпируемости из следующего списка:

- коэффициент драпируемости – соотношение площади проецируемой тени ниспадающего складками образца полотна и площади незадрапированного образца, выраженное в процентах;
- число узлов – количество образованных волн или складок;
- амплитуда волны – размер преобладающей волны (складки) в сантиметрах;
- длина волны – длина преобладающей волны (складки) в градусах окружности (от 0° до 360°);
- минимальная амплитуда – наименьший размер волны (складки) в сантиметрах;
- максимальная амплитуда – наибольший размер волны (складки) в сантиметрах;
- средняя амплитуда – средний размер образованных волн (складки) в сантиметрах;
- дисперсия амплитуд образованных волн (складки) в сантиметрах;
- преобразование Фурье, первоначальная форма и преобладающая волна – факторы соответствия для проверки пригодности преобразования Фурье и определения преобладающей волны, которые выражаются в процентах.

В то же время необходимо отметить, что набор показателей, традиционно используемых для оценки драпируемости, ограничен и не является достаточным для разработки моделей для прогнозирования данного свойства тканей. В связи с этим перспективным направлением развития подходов к оценке драпируемости является использование для этой цели методов 3D-сканирования.

Несмотря на то, что данное направление не

является новым, как правило, полученные в результате подобных испытаний ткани данные используются для расчетов традиционных показателей ее драпируемости [3]. Существующие автоматизированные системы проектирования одежды позволяют моделировать драпируемость, то есть математическое обеспечение этих систем включает алгоритмы расчета поверхности драпированных текстильных полотен. Однако, как правило, исходные данные для моделирования могут быть получены с использованием нетрадиционного для Республики Беларусь лабораторного оборудования, например, Kawabata Evaluation System (Япония).

Целью данной работы являлось определение возможности построения математической модели поверхности драпированного образца текстильного полотна по результатам 3D-сканирования.

При этом предполагается получить модель, коэффициенты которой будут зависеть от состава, структуры и вида заключительной отдел-

ки исследуемой ткани, то есть от параметров, определяющих жесткость ткани в направлении основы и утка. Применение подобной модели позволит на основании результатов стандартных испытаний ткани осуществлять прогнозирование не только коэффициента драпируемости, но и формы складок.

В качестве объекта исследований была использована чистольняная ткань поверхностной плотности  $200 \text{ г/м}^2$ , обработанная силиконовым мягчителем.

Для получения исходных данных для построения математической модели использован настольный профессиональный 3D-сканер Next Engine 3D scanner HD. Сканирование образца осуществлялось в условиях Научно-технологического парка Витебского государственного технологического университета (рисунок 1).

Для сканирования использовался образец диаметром  $24 \text{ см}$ . Диаметр опорного диска был равен  $12 \text{ см}$ . Такие размеры были выбраны с учетом технологических возможностей 3D-ска-

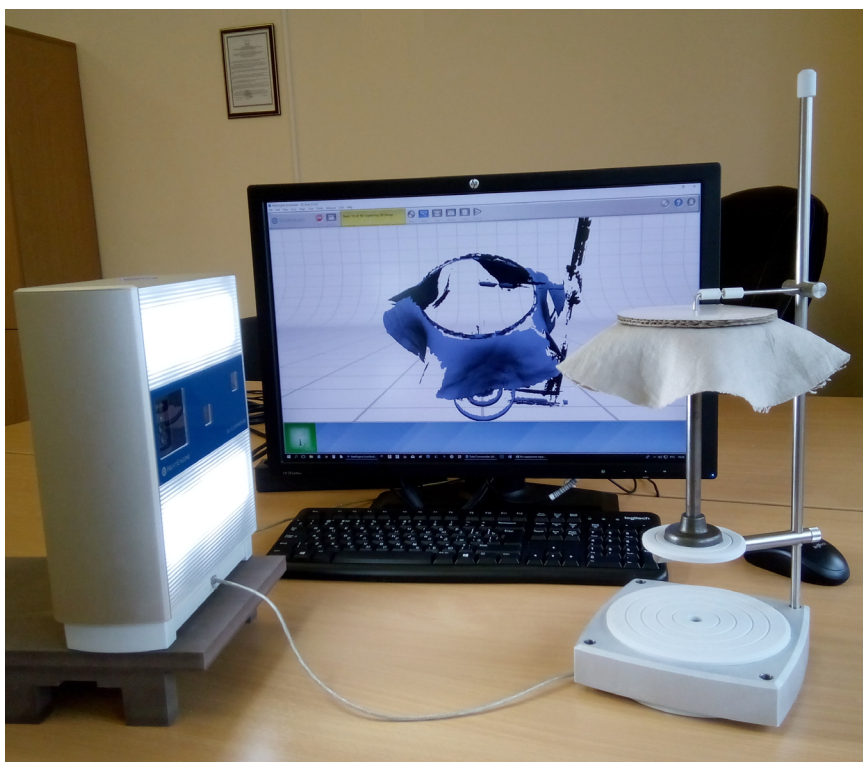


Рисунок 1 – Сканирование образца льняной ткани

нера.

Результаты сканирования сохранялись в формате STL и обрабатывались в программном комплексе SolidWorks следующим образом:

- в полученной трехмерной модели образца драпированной ткани выделялось 5 сечений на расстояниях 10, 15, 20, 25, 30 мм от опорного диска (рисунок 2 а);

- каждое сечение разбивалось на 72 угла по 5° (рисунок 2 б, в);

- для каждого угла определялось расстояние от оси опорного диска до точки на поверхности драпированной ткани.

На рисунке 3 в графической форме представлены результаты измерений для пяти сечений драпированной ткани. Анализируя их, можно отметить, что при удалении от опорного диска складки деформируются, приобретая более «заостренный» вид. Эта закономерность видна и на рисунке 2.

На первом этапе статистической обработки результатов сканирования была выдвинута гипотеза о том, что для описания сечений драпированной ткани может быть использована следующая модель:

$$R = R_0 + \Delta R_1 \cdot \sin(n \cdot \varphi + \Delta \varphi_1) + \Delta R_2 \cdot \sin(2 \cdot \varphi + \Delta \varphi_2), \quad (1)$$

где  $R_0$  – средний радиус точки на поверхности ткани;  $\Delta R_1 \cdot \sin(n \cdot \varphi + \Delta \varphi_1)$  – слагаемое, описывающее форму складки без учета анизотропии ткани, то есть без учета различий деформаций ткани вдоль нитей основы и утка;  $n$  – количество сформировавшихся складок для исследуемого случая  $n = 6$ ;  $\Delta R_1$  – амплитуда изменения радиуса;  $\Delta R_2 \cdot \sin(2 \cdot \varphi + \Delta \varphi_2)$  – слагаемое, характеризующее влияние анизотропии свойств ткани вдоль нитей основы и утка на ее драпируемость (множитель 2 соответствует ко-

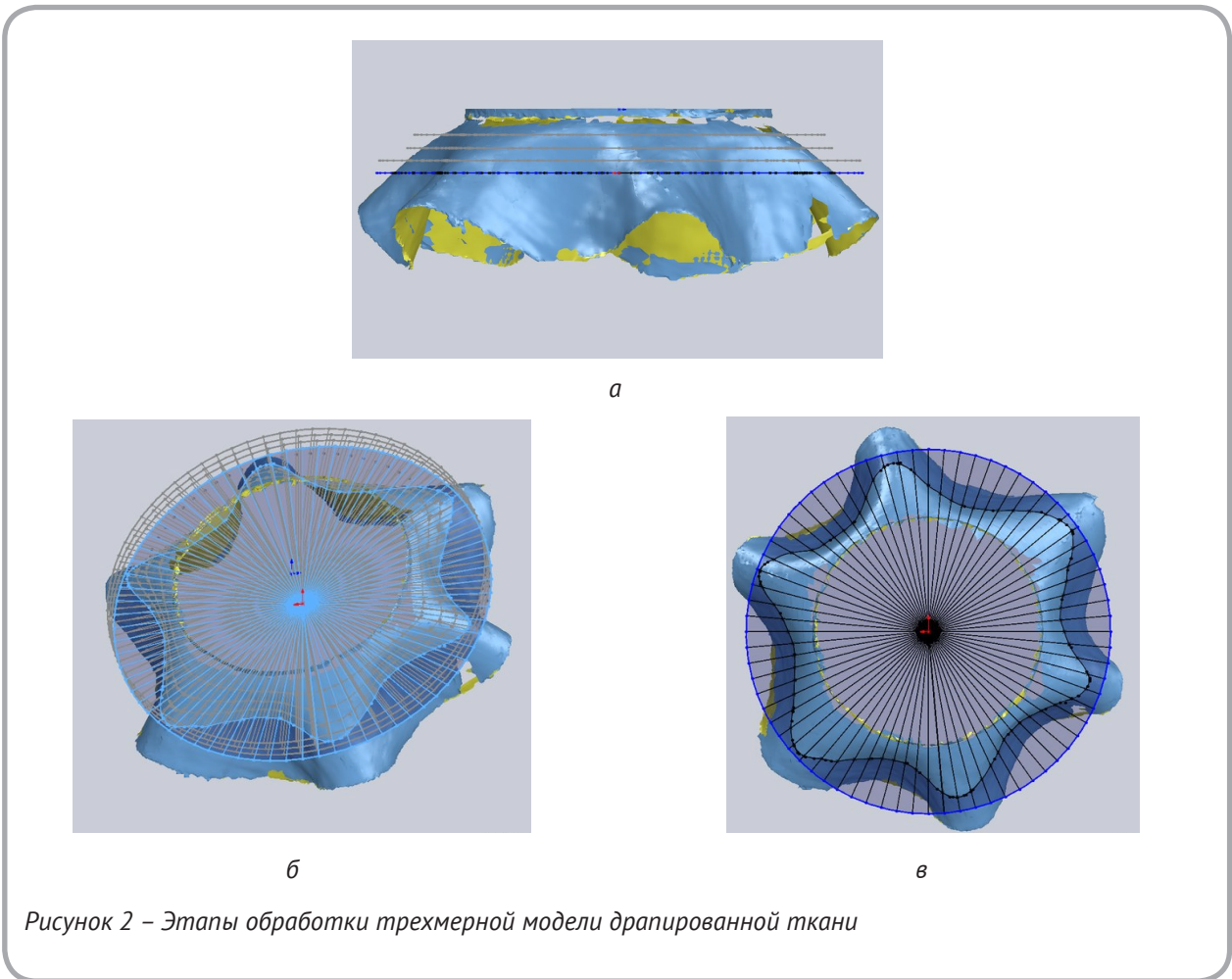


Рисунок 2 – Этапы обработки трехмерной модели драпированной ткани

личеству систем нитей);  $\Delta R_2$  – амплитуда изменения радиуса точки из-за анизотропии свойств ткани;  $\Delta\varphi_1, \Delta\varphi_2$  – фазы соответствующих периодических составляющих модели.

Статистическая обработка результатов сканирования осуществлялась с использованием программы Statistica for Windows. Результаты обработки представлены в таблице 1.

Анализируя результаты обработки экспериментальных данных, можно отметить следующее:

– с увеличением расстояния  $H$  адекватность модели повышается. Низкое значение коэффициента детерминации на расстоянии 10 мм от опорного диска связано с тем, что в верхней области драпировки складки не совсем сформированы, а на их форму в значительной степени оказывают влияние случайные факторы;

– значения  $\Delta\varphi_2$  являются статистически незначимыми, что доказано в результате сопоставления расчетного и табличного значений критерия Стьюдента;

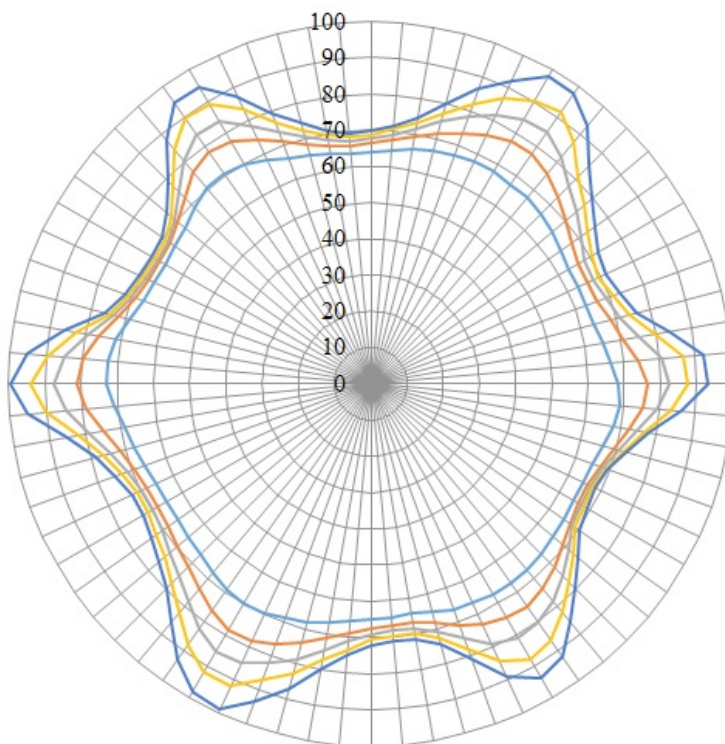


Рисунок 3 – Результаты измерений срезов драпированной ткани

Таблица 1 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных (модель (1))

Расстояние от опорного диска $H$	Значение коэффициентов модели				Коэффициент детерминации модели $R^2$
	$R_0$	$\Delta R_1$	$\Delta\varphi_1$	$\Delta R_2$	
10	66,7859	2,3570	-1,5019	-0,5105	0,588
15	71,5877	5,2563	-1,4593	0,6773	0,840
20	74,9690	7,6726	-1,4593	1,4017	0,888
25	78,0681	9,9807	-1,4571	2,0286	0,893
30	81,0795	12,1937	-1,4517	2,7609	0,890

– значения  $\Delta\varphi_1$  приблизительно одинаковы, что является вполне естественным для исследуемого объекта. В связи с этим на следующем этапе обработки можно использовать среднее значение  $\Delta\varphi_1 = -1,46587$  ( $-84^\circ$ ).

На втором этапе обработки были получены зависимости коэффициентов модели от расстояния  $H$ :

$$R_0 = 60,5 + 0,7 \cdot H, \quad (2)$$

$$\Delta R_1 = -2,267 + 0,488 \cdot H, \quad (3)$$

$$\Delta R_2 = -1,886 + 0,158 \cdot H. \quad (4)$$

Для всех представленных моделей коэффициент детерминации  $R^2$  составил не менее 0,98.

Несмотря на высокую адекватность полученных моделей, модель недостаточно точно описывает профиль получаемых сечений драпированной ткани (рисунок 4). Основным отличием является то, что на расстоянии 30 мм от опорного диска толщина складки становится меньше толщины, определенной в результате расчета.

Для приближения модели драпированной ткани к фактической ее форме в формулу (1) внесены изменения, в результате чего она приобрела следующий вид:

$$R = R_0 + \Delta R_1 \cdot (1 + \sin(n \cdot \varphi + \Delta\varphi_1))^{k_1} + \Delta R_2 \cdot (1 + \sin(2 \cdot \varphi + \Delta\varphi_2))^{k_2}, \quad (5)$$

где показатели степени  $k_1$  и  $k_2$  характеризуют искажение формы сечения складок по сравнению с принятой ранее за основу синусоидой.

Необходимо обратить внимание на то, что в формуле (5) изменился физический смысл некоторых величин по сравнению с формулой (1). Так,  $R_0$  в формуле (5) – это не средний радиус кривой в исследуемом сечении, а радиус впи-

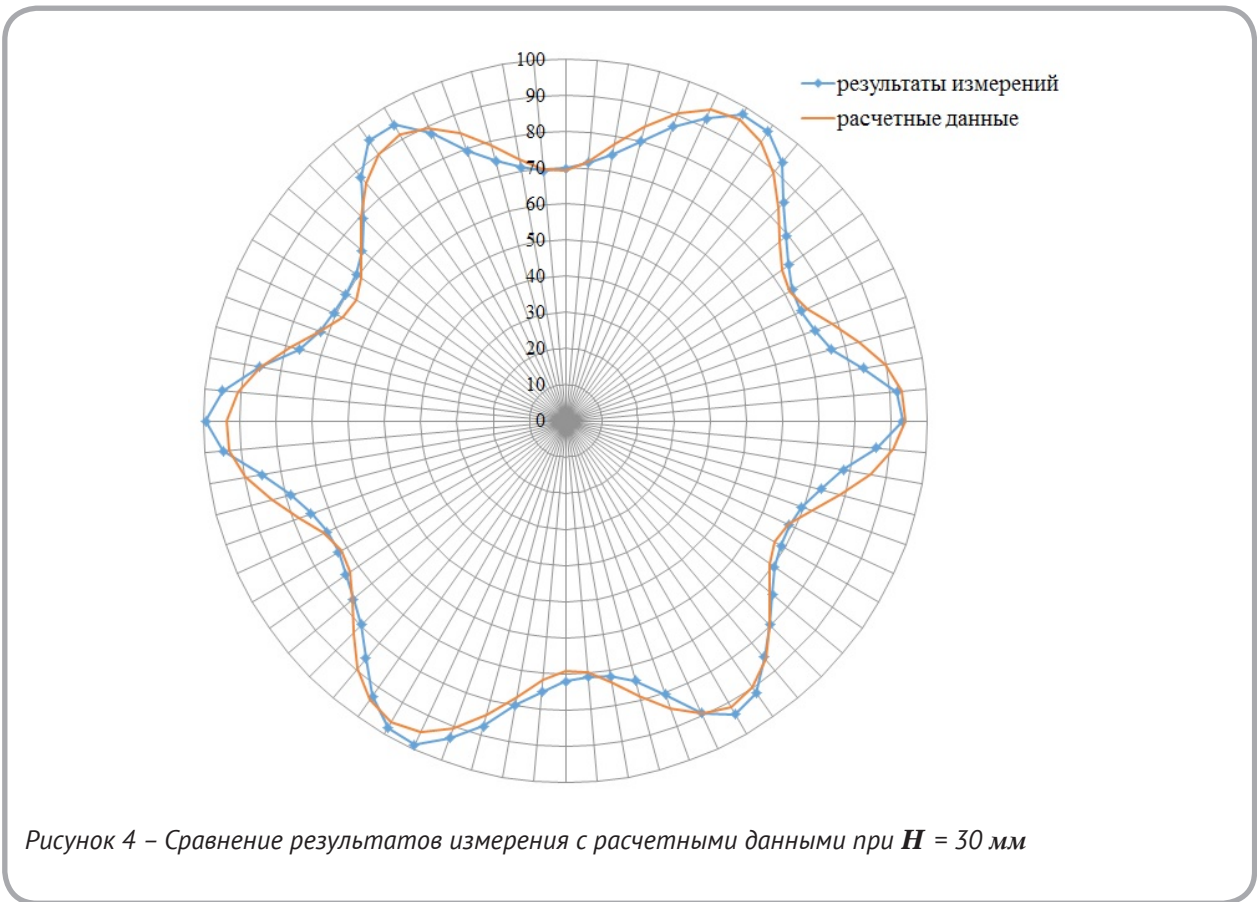


Рисунок 4 – Сравнение результатов измерения с расчетными данными при  $H = 30$  мм

санной в нее окружности,  $\Delta R_1$  – максимальная высота складки,  $\Delta R_2$  – максимальное отклонение высоты складки, зависящее от анизотропии свойств ткани.

В связи со сложностью данной модели возникли проблемы, связанные со снижением значимости коэффициентов, в связи с чем на основании анализа предварительных данных было принято решение обработку результатов осуществлять при постоянном значении показателя степени  $k_2 = 4$ .

С учетом низкой адекватности модели для расстояния  $H = 10$  мм соответствующие данные измерений были исключены из статистической обработки.

Полученные результаты представлены в таблице 2.

Анализируя приведенные данные, можно отметить, что усложнение модели привело к некоторому повышению коэффициента детерминации. Кроме того, повысилась значимость полученного значения угла  $\Delta\varphi_2$ , что позволило учесть его в разработанной модели. Средние значения углов составили  $\Delta\varphi_1 = -1,441$  ( $-82,5^\circ$ ),  $\Delta\varphi_2 = 0,311$  ( $17,8^\circ$ ).

Для коэффициентов модели получены зависимости от расстояния  $H$ :

$$R_0 = 63,2 + 0,23 \cdot H, \quad (6)$$

$$\Delta R_1 = 1,351 + 0,177 \cdot H, \quad (7)$$

$$k_1 = 0,921 + 0,031 \cdot H, \quad (8)$$

$$\Delta R_2 = -0,184 + 0,02 \cdot H. \quad (9)$$

Для всех представленных зависимостей коэффициент детерминации  $R^2$  составил не менее 0,98.

На рисунке 5 изображены в графической форме результаты расчетов по формулам (5)–(9) для срезов драпированной ткани на расстояниях 10, 15, 20, 25, 30 мм от опорного диска. Визуально видно, что корректировка вида модели привела к тому, что внешний вид срезов изменился и приблизился к экспериментально полученным изображениям (рисунок 6).

В общем виде форма поверхности драпированной ткани при количестве складок, равном  $n$ , может быть описана следующей формулой:

$$R(\varphi, H) = a_0 + a_1 \cdot H + (a_2 + a_3 \cdot H) \cdot (1 + \sin(n \cdot \varphi + \Delta\varphi_1))^{(a_4 + a_5 \cdot H)} + (a_6 + a_7 \cdot H) \cdot (1 + \sin(2 \cdot \varphi + \Delta\varphi_2))^{a_8}. \quad (10)$$

Полученная модель содержит 9 эмпирических коэффициентов  $a_0 - a_8$ , 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, вида переплетения и т. д.).

Таким образом, на основании статистической обработки результатов, полученных при 3D-сканировании, получена математическая модель, с достаточно высокой точностью описывающая поверхность драпированной ткани.

На следующем этапе исследований запланировано определение характера и степени

Таблица 2 – Результаты статистической обработки экспериментальных данных (модель (5))

Расстояние от опорного диска $H$	Значение коэффициентов модели						Коэффициент детерминации модели $R^2$
	$R_0$	$\Delta R_1$	$\Delta\varphi_1$	$\Delta k_1$	$\Delta R_2$	$\Delta\varphi_2$	
15	66,65706	3,89964	-1,45257	1,37810	0,67733	0,36037	0,858
20	67,84744	5,02951	-1,44116	1,55278	1,4017	0,30877	0,920
25	69,03847	5,80529	-1,43833	1,73170	2,0286	0,28530	0,936
30	70,12128	6,58931	-1,43198	1,84052	2,76087	0,28971	0,939

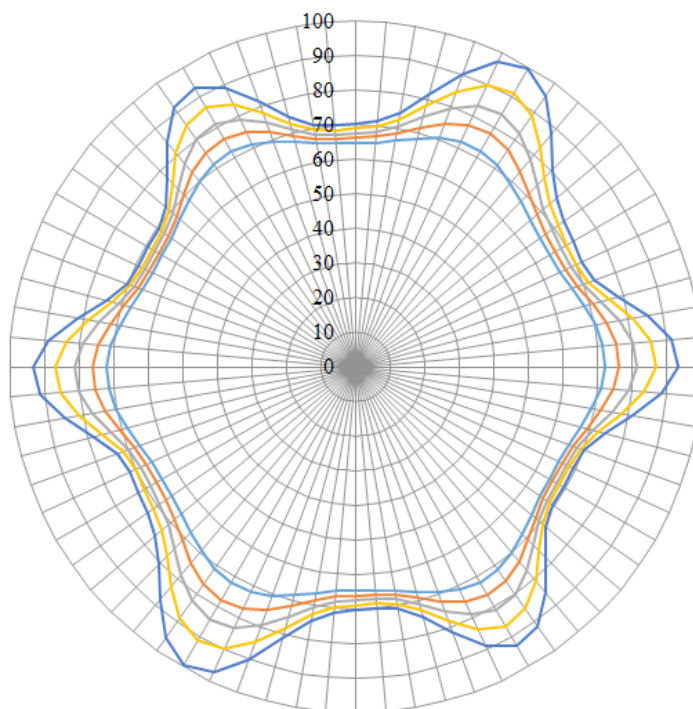


Рисунок 5 – Результаты расчета профилей срезов драпированной ткани по формуле (5)

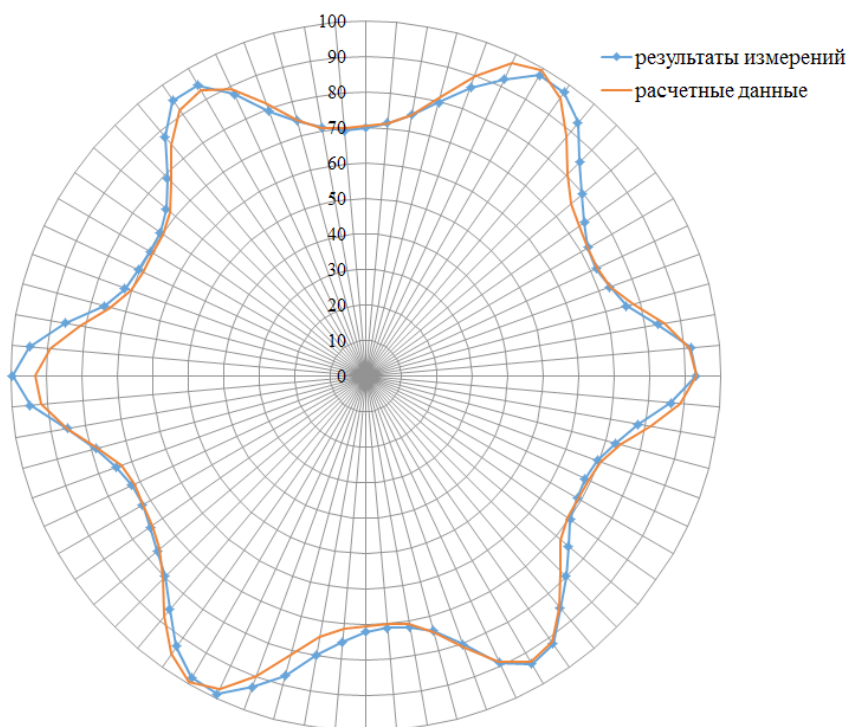


Рисунок 6 – Сравнение результатов измерения с расчетными данными (формула (5)) при  $H = 30$  мм



влияния указанных факторов на коэффициенты регрессионной модели (10), что позволит осуществлять прогнозирование формы драпированной ткани заданного состава и структуры.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Интерактивные примерочные: будущее модного ритейла? (2016), режим доступа: <https://mediastancia.com/articles/4438/>.
2. Дремлюга, О. А., Шеромова, И. А., Железняков, А. С. (2015), Использование волновых процессов для исследования свойств одежных материалов при деформации изгиба, *Современные проблемы науки и образования*, № 2 (часть 2), режим доступа: <https://science-education.ru/pdf/2015/2-2/54.pdf>.
3. Sanad, R., Cassidy T., C. Vien, Evans E. (2013), Fabric and Garment Drape Measurement - Part 2, *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 6:1, режим доступа: <http://www.global-sci.org/jfbi/issue/v6n1/pdf/JFBI-6.1.1.pdf>.
4. Tsai K-H., Tsai M-C., Wang P-N., Shyr T-W. (2009), New Approach to Directly Acquiringe the Drape Contours of Various Fabrics, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 2009, Vol. 17, No. 3 (74), pp. 54–59.
5. Gnanavel, P., Ananthkrishnan, T. (2014), Volume Based Measurement of Fabric Drape using Surfer Software and Studies on Effect of Influencing Factors, *Journal of Textile Science & Engineering*, 4:159, режим доступа: <https://www.omicsonline.org/open-access/volume-based-measurement-of-fabric-drape-using-surfer-software-and-studies-on-effect-of-influencing-factors-2165-8064-4-159.php?aid=27692>.

## REFERENCES

1. Interactive fitting rooms: the future of fashion retail? [Interaktivnye primerochnye: budushhee modnogo ritejla?] (2016), available at: <https://mediastancia.com/articles/4438/>.
2. Dremljuga, O. A., Sheromova, I. A., Zheleznyakov, A. S. (2015), The use of wave processes to study of the properties of clothing materials during bending deformations [Ispol'zovanie volnovykh processov dlja issledovaniya svojstv odezhnih materialov pri deformacii izgiba], *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, № 2 (part 2), available at: <https://science-education.ru/pdf/2015/2-2/54.pdf>.
3. Sanad, R., Cassidy T., C. Vien, Evans E. (2013), Fabric and Garment Drape Measurement - Part 2, *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 6:1, режим доступа: <http://www.global-sci.org/jfbi/issue/v6n1/pdf/JFBI-6.1.1.pdf>.
4. Tsai K-H., Tsai M-C., Wang P-N., Shyr T-W. (2009), New Approach to Directly Acquiringe the Drape Contours of Various Fabrics, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 2009, Vol. 17, No. 3 (74), pp. 54–59.
5. Gnanavel, P., Ananthkrishnan, T. (2014), Volume Based Measurement of Fabric Drape using Surfer Software and Studies on Effect of Influencing Factors, *Journal of Textile Science & Engineering*, 4:159, режим доступа: <https://www.omicsonline.org/open-access/volume-based-measurement-of-fabric-drape-using-surfer-software-and-studies-on-effect-of-influencing-factors-2165-8064-4-159.php?aid=27692>.

Статья поступила в редакцию 02. 04. 2018 г.