

Также следует отметить, что полученные значения критериев качества ( $R^2$  и СКО) для модели, прогнозирующей содержание спиртов в МТБЭ с учетом восстановления времени отбора пробы с помощью EM алгоритма, существенно хуже, что свидетельствует о его сильной зависимости от выбора начального приближения значений параметров модели. Проблемы сходимости в локальном максимуме решаются с использованием бутстреп-анализа путем формирования нескольких начальных приближений оценок параметров модели на основе псевдовыборок.

Гистограммы значений  $\hat{\lambda}_i$  для различного времени отбора пробы, полученных с использованием предлагаемого алгоритма, изображены на рис. 5.

По полученным гистограммам видно, что отбор пробы, соответствующий 9:00 часам, содержит в себе временную задержку от 0 до 2 часов. Временная задержка для отбора пробы в 15:00 соответствует в основном 80 минутам, а для отбора пробы в 23:00 преобладает нулевая временная задержка.

Результаты функционирования прогнозирующей модели, полученной с помощью предлагаемого алгоритма, приведены на рис. 6.

Применение предлагаемого алгоритма для определения временных задержек отбора пробы позволяет улучшить точность оценки показателя качества продукта (снижение СКО) до  $((0,0957-0,0871)/0,0957) \cdot 100 \approx 10\%$  и  $((0,1176-0,0871)/0,1176) \cdot 100 \approx 25\%$  в сравнении с методом без учета задержки и применением EM алгоритма на проверочной выборке.

#### Список литературы

1. Wu Y., Luo X. A novel calibration approach of soft sensor based on multirate data fusion technology // Journal of Process Control. 2010. V. 20. P. 1252-1260.
2. Xie Li, Yang H. Huang B. FIR Model Identification of Mutirate Processes with Random Delay Using EM Algorithm // AIChE Journal. 2013. P. 1-41.
3. Zhou Xi-Yu, Lim Joon S. Replace Missing Values with EM algorithm based on GMM and Naïve Bayesian // International Journal of Software Engineering and Its Application. 2014. V. 8. No. 5. P. 177-188.
4. Efron B. Tibshirani R. Bootstrap methods for standard errors, confidence intervals, and other measures of statistical accuracy // Statistical Science. 1986. V. 1. No. 5. P. 54-77.
5. Davison A. C., Hinkley D.V. Bootstrap methods and their application. USA: Cambridge University Press, 2008. 583 p.

*Гончаров Антон Александрович — канд. техн. наук, младший научный сотрудник,*

*Самотылова Светлана Александровна — младший научный сотрудник,*

*Торгашов Андрей Юрьевич — д-р техн. наук, зав. лабораторией систем управления технологическими процессами ФГБУН «Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН»,*

*ФГАОУВО Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ),*

*Ан Дмитрий Сергеевич — главный метролог АО «Газпромнефть-Омский НПЗ».*

*Контактный телефон +7(423)231-02-02.*

*E-mail: torgashov@iacp.dvo.ru*

## ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ И ОБЪЕКТИВНОСТИ ОЦЕНКИ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫХ ПОЛОТЕН

Т.О. Гойс, А.Ю. Матрохин,

А.В. Умников (ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»)

*Созданы научные предпосылки для интерпретации результатов компьютерного анализа изображений геотекстильных полотен на предмет степени повреждения их структуры в привычной шкале балловых оценок, определены пути дальнейшего совершенствования количественной оценки повреждаемости геотекстильных полотен.*

*Ключевые слова: геотекстильные полотна, оценка повреждаемости, компьютерный анализ изображения, шкала балловых оценок.*

Для оценки пригодности геотекстильных полотен (ГТП) к использованию по назначению изготовитель в ходе типовых испытаний должен определять степень повреждаемости полотна при действии различных эксплуатационных факторов (циклические нагрузки, агрессивная среда, микроорганизмы, светопогода, многократное замораживание и оттаивание).

На сегодняшний день существуют различные нормативные критерии (признаки) повреждений. Согласно ГОСТ 18976-73. «Ткани текстильные. Метод определения стойкости к истиранию», критерием повреждения при испытании тканых полотен на истирание является момент разрушения пробы, вызыва-

ющего автоматическую остановку прибора. В результате записывают число циклов воздействия (например, число оборотов головки прибора), при котором произошло разрушение испытуемой ткани. В данном подходе отсутствует оценка степени поврежденности материала, то есть самоостанов прибора может быть вызван как отдельными деформациями, так и накоплением этих деформаций на большой площади. Таким образом, невозможно с заданной точностью спрогнозировать момент разрушения материалов.

Другой подход (ГОСТ Р ИСО 12947-2-2011. «Материалы текстильные. Определение стойкости к истиранию методом Мартиндейла.» Часть 2. «Определение

Таблица 1. Критерии визуальной оценки ворсистой и/или пиллинга

Баллы	Описание
5	Нет видимых изменений
4	Небольшое появление ворсистой и/или частично сформированные пилли
3	Умеренная ворсистость поверхности и/или умеренные пилли. Пилли разного размера и плотности частично покрывают поверхность пробы
2	Выраженная ворсистость на поверхности и/или выраженные пилли. Пилли разного размера и плотности покрывают большую часть поверхности пробы
1	Густая ворсистость поверхности и/или резкие пилли. Пилли разного размера и плотности покрывают всю поверхность пробы

момента разрушения» и ГОСТ Р ИСО 12945-2-2012. «Материалы текстильные. Определение способности текстильных полотен к образованию ворсистой и пиллингу. Модифицированный метод Мартиндейла») предполагает визуальную оценку поверхности образца на предмет изменения структуры и внешнего вида, а также на наличие разрушений. Подготовленный образец подвергают истирающему воздействию абразивным средством под определенным давлением и по заранее установленной программе. Через определенные интер-

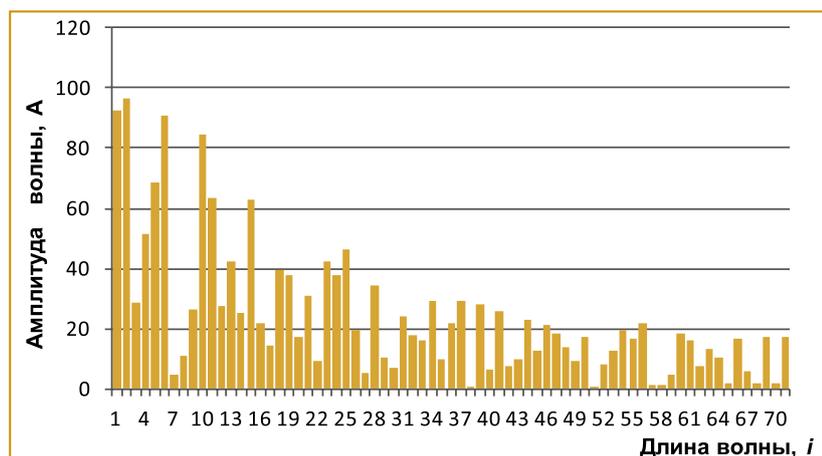
валы времени воздействие приостанавливают, и эксперты проводят визуальное исследование. Оценивают каждую пробу согласно системе баллов (табл. 1).

Критериями разрушения образца являются, в том числе: разрыв двух отдельных нитей (для тканых полотен), обрыв одной нити, приводящий к образованию дыры (для трикотажных полотен), полное выпадение ворса (для ворсовых полотен), образование первой дыры диаметром не менее 0,5 мм (для нетканых полотен) (согласно ГОСТ Р ИСО 12947-2-2011).

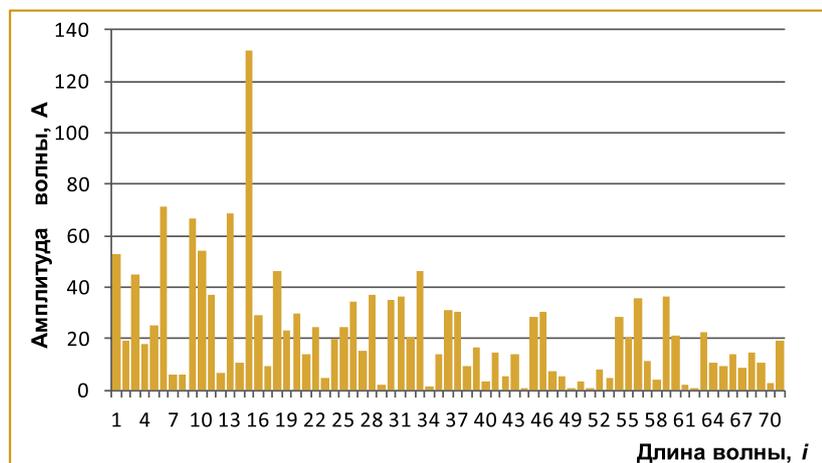
Недостатком приведенного метода является применение субъективного подхода к оценке наличия и степени изменения внешнего вида образца. Кроме того, методика содержит ряд неопределенностей и может иметь различное толкование у экспертов, а использование фотографической оценки образца, предусмотренной в стан-дарте [3] само по себе не может устранить данный недостаток. Следует также отметить ограничения по точности в пределах полу-балла, если экспертная оценка соответствует промежуточному значению между двумя уровнями, что снижает разрешающую способность метода оценки.

Третий подход (ОДН 218.5.006-2010. «Рекомендации по методикам испытаний геосинтетических материалов в зависимости от области их применения в дорожной отрасли») предполагает количественную оценку — индекс повреждения (сохранение прочности) путем вычисления отношения прочности при растяжении образца до и после механических воздействий. Аналогичный подход применяется к оценке долговечности, стойкости к действию УФ-излучения и др. Данная оценка носит косвенный характер, так как прочность при растяжении не может описать поведение и состояние материала в применимых условиях эксплуатации. Например, при циклической нагрузке характерно изменение конфигурации и местоположения составляющих нитей, что не оказывает определяющего влияния на прочность материала при растяжении, но существенно сказывается на размерах пор и иных характеристиках структуры.

В дополнение к ОДН 218.5.006-2010 вышел в свет национальный стандарт ГОСТ Р 56336-2015. «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические. Метод определения стойкости к циклическим нагрузкам», который предполагает контроль точности результатов измерений и дополнительную визуальную оценку. Однако в ГОСТ Р 56336-2015 не приводятся указания по уровням экспертной оценки и по их соотношению с количественно определенным индексом повреждения.



а)



б)

Рис. 1. АЧХ (а) исходного образца (б) поврежденного образца

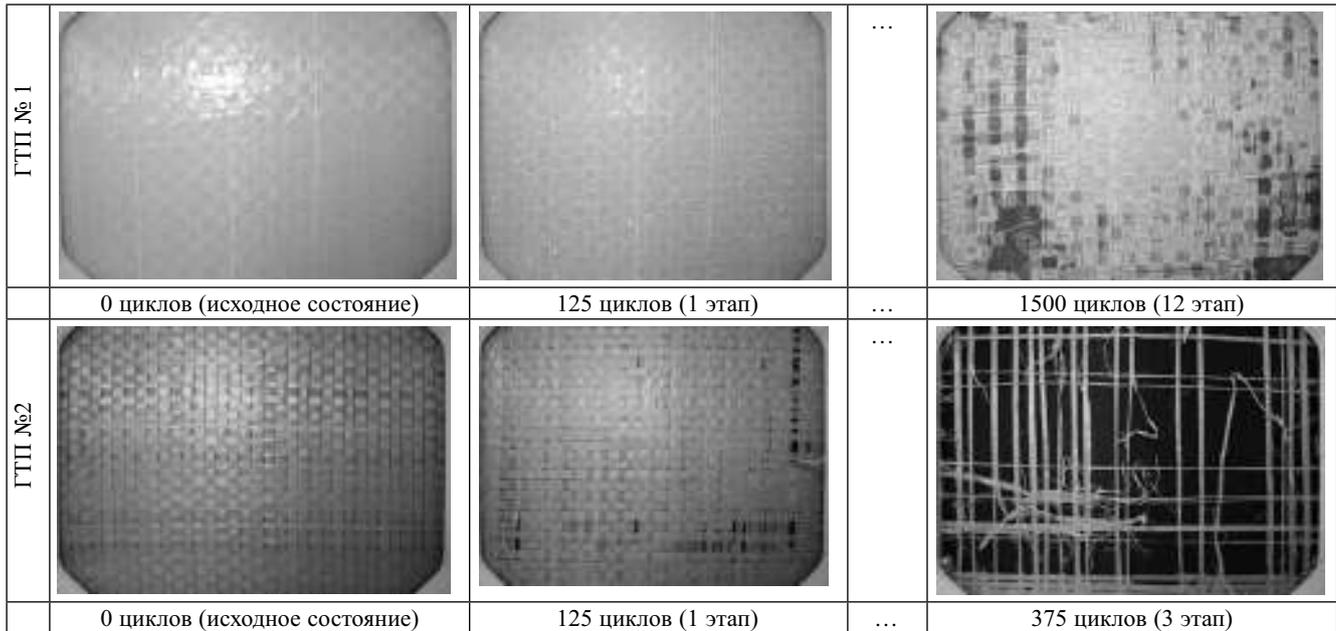


Рис. 2. Фоторяд результатов испытаний

Геотекстильное полотно несет множество внешних признаков, которые можно анализировать на предмет изменения его структуры [1], поэтому необходим и вполне возможен новый подход к оценке износа полотна, который позволил бы перейти от оценки прочности к оценке изменения их структуры.

В развитие данного направления предлагается способ оценки повреждаемости полотен, в том числе геотекстильных, который направлен на уменьшение субъективного влияния оператора на стадии итоговой оценки степени ухудшения внешнего вида образца. Способ автоматизированного определения показателей повреждаемости геотекстильных полотен в процессе эксплуатационных испытаний [2] основывается на анализе цифровых изображений полотна до и после физико-механических воздействий с помощью компьютерной программы.

Анализ проводится в отношении амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), полученной на основе преобразования Фурье (рис. 1).

Данный способ позволяет:

- расширить функциональные возможности количественной оценки разнообразных изменений внешнего вида геотекстильных полотен (размеров, окраски, взаимного положения их структурных элементов);

- повысить информативность, чувствительность, объективность и точность определения показателей повреждаемости геотекстильных полотен;

- снизить риск недостоверной оценки повреждаемости полотна.

Вместе с тем применение предлагаемого способа на данном этапе ограничено тем, что выходная характеристика степени повреждения, выражаемая относительным отклонением АЧХ исходного (рис. 1, а) и поврежденного (рис. 1, б) образца, не имеет какой-либо нормированной шкалы и поэтому неудобна.

Цель данного исследования заключается в приведении выходного результата компьютерной оценки к традиционной шкале (например, в диапазоне 0...10 баллов), при этом обеспечив сохранение высокой точности и чувствительности компьютерного метода.

Основной подход заключается в получении математической модели передаточной (результатирующей) функции между стандартной балловой шкалой и условной шкалой компьютерного метода. Для этого необходимо получить ряд значений оценки повреждаемости одного и того же материала как в системе

Таблица 2. Результаты ранжирования для ГТП №1

Шифр изображения	Оценка эксперта, ранг										Средняя оценка $\bar{V}_i$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	6	6	6	6	6	6	6	7	6	6	6,1
B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C	8	8	9	7	8	9	8	9	9	9	8,4
D	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	4,8
E	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	9,9
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
H	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
I	4	4	4	5	4	4	4	5	4	4	4,2
J	9	10	8	8	9	8	8	8	8	8	8,4
K	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
L	7	7	7	9	7	7	7	6	7	7	7,1

Таблица 3. Результаты ранжирования для ГТП №2

Шифр изображения	Оценка эксперта, ранг										Средняя оценка $\bar{V}_i$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
C	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1,8
D	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
E	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
F	7	6	6	7	7	7	7	7	7	7	6,8
G	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1,2
H	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
I	6	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6,2

Таблица 4. Экспериментальные и аппроксимированные значения отклонений между элементами АЧХ изображений исходного образца и образца, подверженного испытанию на истирание

№ этапа истирания	Среднее относительное отклонение между элементами АЧХ исходного и текущего изображений	Аппроксимированные значения отклонений между элементами АЧХ исходного и текущего изображений
1	0,684324	0,716697
2	0,756654	0,763913
3	0,83295	0,814239
4	0,86569	0,86788
5	0,86133	0,925055
6	1,1616	0,985997
7	1,00735	1,050954
8	1,21725	1,12019
9	1,18952	1,193987
10	1,17112	1,272646
11	1,34044	1,356487

экспертных оценок, так и в единицах относительного отклонения АЧХ.

Прежде всего, раскроем результаты балловой оценки повреждения геотекстильных материалов, которые в дальнейшем будем рассматривать как базовые. В качестве объектов исследования выбраны геотекстильные материалы полотняного переплетения (ГТП № 1) и (ГТП № 2). В качестве прибора для испытания геотекстильных полотен был использован универсальный аппарат для плоского истирания типа FF-21 и соответствующий режим движения (комбинация двух перпендикулярных друг к другу, отличающихся по частоте альтернативных движений — сетевое составное движение по всей плоскости).

Согласно ГОСТ Р ИСО 12945-2-2012, проведены поэтапные испытания выбранных объектов на трех одновременно заправленных образцах при нагрузке 415 г. Шаг между этапами истирания выбран в 125 циклов. В качестве абразива использовалась наждачная бумага (2 С 720х30 Л114 АМ63 НС ГОСТ 5009-82). После каждого этапа истирания выполнялась фик-

сация состояния образцов. Испытания проводились до максимальной степени повреждения. Для мембранного объекта ГТП № 1 эта степень соответствовала появлению сквозной перфорации, а для объекта ГТП № 2 — критическому нарушению целостности структуры. Визуальное представление результатов испытаний приведено на рис. 2.

При получении стандартного ряда балловых оценок для ГТП № 1 фактический ряд результатов оказался больше 10 и каждый его элемент (этап) несет свою смысловую нагрузку, поэтому принято решение увеличить число уровней шкалы до 12. В отношении ГТП № 2 для того, чтобы «растянуть» шкалу, принято решение использовать в общем ряду результаты истирания различных образцов того же материала, обладающие наглядными признаками. Данное допущение признано возможным, так как состояние образцов на поздних стадиях истирания мало сопоставимо с исходным образцом. Таким образом, число уровней балловой оценки для образца ГТП № 2 оказалось равным девяти.

Для осуществления экспертного опроса получена подборка распечатанных с высоким разрешением и качеством печати изображений ГТП, подверженных испытаниям на истирание. Фотоизображения рассортированы в случайном порядке, независимо от последовательности циклов истирания и кодированы буквами латинского алфавита. Сущность экспертного ранжирования сводилась к нахождению каждым экспертом изображения исходного образца в представленном фоторяде и присвоению ему ранга 0. Далее каждый эксперт индивидуально должен был распределить ранги для оставшихся изображений и зарегистрировать их в предлагаемой форме. В качестве экспертов были привлечены специалисты из ФГБОУ ВО «ИВГУ». Результаты ранжирования, полученные от всех экспертов, сведены в табл. 2 и 3.

Привлечение группы экспертов позволяет повысить стабильность итоговой оценки и надежность будущей математической модели.

На следующем этапе решения задачи получены результаты определения повреждаемости исследуемых материалов в единицах относительного отклонения АЧХ изображений полотен. Оценка проводилась по трем узким прямоугольным участкам во всю ширину изображений, равномерно распределенным по высоте (в верхней части, в центре и внизу) изображения. Усредненные экспериментальные результаты анализа изменения АЧХ изображений ГТП № 1 приведены в табл. 4.

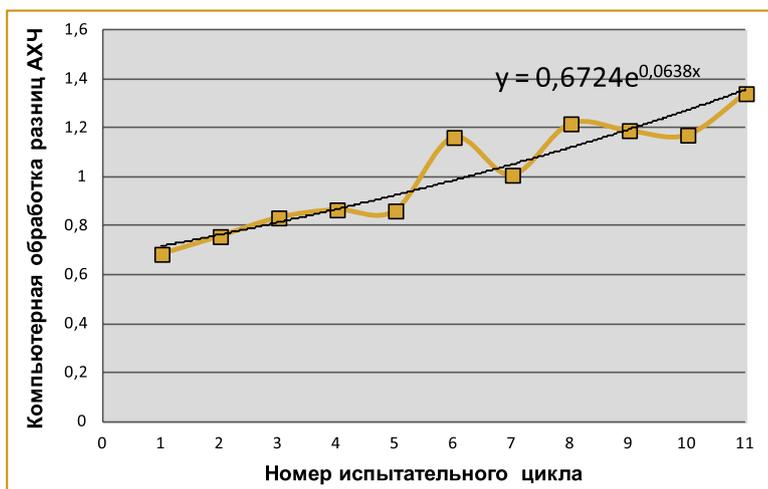


Рис. 3. Изменение структуры образца на протяжении всего испытательного цикла

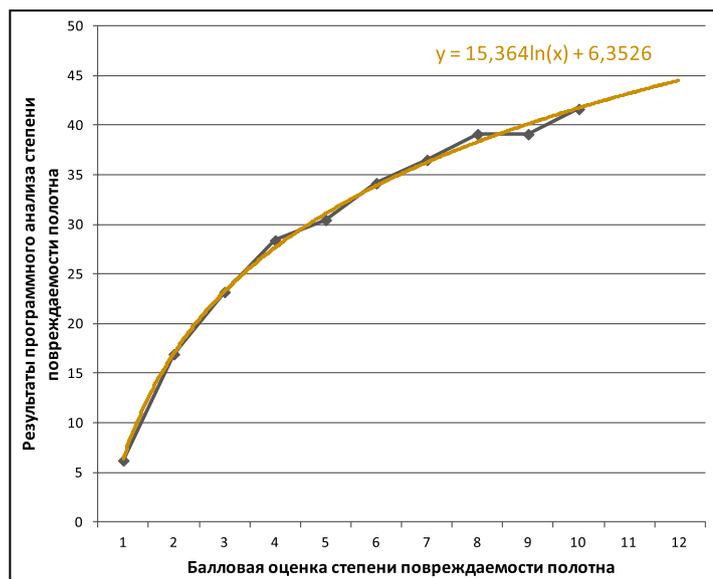


Рис. 4. Зависимость аппроксимированных значений отклонений между элементами АЧХ и средневзвешенной экспериментальной балловой оценки степени повреждения

На графике экспериментальных данных (рис. 3) наблюдается характерное увеличение отклонений между элементами АЧХ. Наблюдаются также некоторые колебания экспериментальных точек во второй части испытательного цикла. На данное наблюдение может повлиять ряд факторов, неучтенных ранее. Для «отстранения» от их влияния построена аппроксимирующая функция на основе экспоненциальной зависимости (рис. 3), с помощью которой можно получить ожидаемые значения изменения амплитудно-частотной характеристики для идеализированного образца.

На основе полученных рядов можно приступить к поиску результирующей функции, связывающей инструментальную компьютерную оценку повреждаемости и органолептическую экспертную оценку. Построение функции проведено с использованием программы Advanced Grapher 2.2. В качестве входных данных (ряд  $x$ ) использованы аппроксимированные значения отклонений между элементами АЧХ, а в качестве выходных параметров (ряд  $Y$ ) — средневзвешенные экспертные балловые оценки степени повреждения. Фактическая и теоретическая зависимости отражены на рис. 4.

Выражение для автоматизированного перевода выходного результата компьютерной оценки повреждаемости полотен к традиционной балловой шкале для соответствующего объекта выборки — образца ГТП № 1 имеет вид:

$$Y(x) = 15,46 \cdot \ln(x) + 6,21. \quad (1)$$

Аналогичное исследование проведено в отношении другого объекта исследований — образца ГТП № 2. Соответствующее выражение для него имеет вид:

$$Y(x) = 6,94 \cdot \ln(x) - 2,99. \quad (2)$$

Коэффициенты представленных моделей имеют близкий порядок, но существенно отличаются по значениям, поэтому в дальнейшем может потребоваться либо установление некоторой универсальной модели в рамках общего измерительного алгоритма, либо формирование набора моделей, предназначенных для определенных ассортиментных групп геотекстильных полотен.

Проведенное исследование позволяет перейти к следующему этапу совершенствования количественной оценки повреждаемости геотекстильных полотен, а именно к установлению стандартных условий испытания, которые определяются конечным числом истирающих циклов, позволяющим принять решение об устойчивости образца к данному виду воздействия.

#### Выводы

1. Созданы научные предпосылки для интерпретации результатов компьютерного анализа изображений геотекстильных полотен на предмет степени повреждения их структуры в привычной шкале балловых оценок.
2. Определены характерные особенности изменения структуры геотекстильных полотен в процессе приложения истирающих воздействий.
3. Определены пути дальнейшего совершенствования количественной оценки повреждаемости геотекстильных полотен.

#### Список литературы

1. Баженов С.М., Вахонина С.А., Тарасов Н.В., Матрохин А.Ю. Информационно-управляющая система для автоматизированного мониторинга Технологических процессов производства тканей // Автоматизация в промышленности. 2015. № 12. С. 32...36.
2. Гойс Т.О., Матрохина А.Ю., Баженов С.М. Разработка алгоритма распознавания степени повреждаемости геотекстильных полотен на основе анализа цифровых изображений (статья) // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. № 2. С. 55...59.

Гойс Татьяна Олеговна — аспирант, Матрохин Алексей Юрьевич — д-р техн. наук, проф., Умников Алексей Витальевич — аспирант кафедры «Материаловедение, товароведение, стандартизация и метрология», текстильного института, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (ИВГПУ).  
Контактный телефон (910) 980-64-46.  
E-mail: tob200786@mail.ru