

## ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ С ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

*Показана возможность улучшения гигиенических свойств готового материала на основе ПАН после проведения функционализации. Определена корреляционная зависимость между удельной электропроводностью и капиллярностью волокнистых материалов, которая свидетельствует о протекании реакции Радзисhevского на поверхности волокна.*

*Ключевые слова: электропроводность, функционализация поверхности, удельное поверхностное электрическое сопротивление, электризуемость.*

N.A. BARDASH, O.A. GARANINA, O.V. ROMANKEVICH  
Kiev National University of Technologies and Design

### ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF FIBROUS MATERIALS WITH A FUNCTIONALIZED SURFACE

*Abstract - Purpose - to determine the influence of surface functionalization on the electrical conductivity of fibrous material on the basis of PAN. Fibrous based materials possess a number of PAS properties, in particular, "wooly". However, the products based on copolymers of acrylonitrile unpleasant inherent disadvantages, among which should be made a significant accumulation of electrical charge. Radzishvsky reaction is effective in holding surface functionalization of PAN-based material. It decrease of the conductivity of fibers. Thus, during exploitation of the finished product will be a more intense and rapid draining process charges formed, which in turn minimizes the amount of accumulated charges.*

*A clear correlation between the conductivity and the capillarity of fibrous material, on the one hand, indicates the occurrence of the Radzishvsky reaction on the fiber surface, and the other - of improving hygienic properties of fibrous materials based on polyacrylonitrile fibers.*

*Keywords: electrical conductivity, surface functionalization, electrical surface resistance, electrified.*

### Введение

На современном этапе развития текстильной промышленности преобладает использование в качестве сырья синтетических волокон [1].

Волокнистые материалы на основе ПАН обладают комплексом ценных свойств, в частности, «шерстеподобностью». Однако, изделиям на основе сополимеров акрилонитрила характерны достаточно неприятные недостатки, среди которых следует выделить ярко выраженную способность накапливать в процессе эксплуатации электрический заряд [2, 3]. При электризации волокон затрудняется их переработка и ухудшаются гигиенические свойства изделий. Степень электризуемости в значительной мере зависит от влажности окружающей среды или волокна, от состава поверхностных слоев волокна. Полиакрилонитрильные волокна при нормальных условиях поглощают примерно 1–2% влаги, поэтому уменьшение их электризуемости является сложной и важной для решения проблемой.

### Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор

Величина возникающего статического заряда определяется многими факторами: наличием влаги, как загрязнением поверхностей, так и наличием специально нанесенных антистатических веществ наличием неизбежных внешних полей, характером контакта и, наконец, особенностями методики измерений [4].

Ряд работ [5-6] указывает на отсутствие единой теории электризации и предлагает свести изучение механизмов генерации и рассеивания зарядов статического электричества к исследованию удельного сопротивления текстильных материалов. Автором работы [7] рассмотрено, что каждому данному виду волокна свойственен определённый максимальный заряд, однако, скорость нарастания (накапливания) заряда при прочих равных условиях для различных волокон различна. По этой причине более правильно электризуемость волокна определять по его максимальному заряду. Однако, в то же время, имеют место и другие методики измерения электризации волокон и волокнистых материалов на их основе [8–10], результаты исследований которых часто противоречат друг другу. Так, по данным работ [11], удельное сопротивление текстильных волокон колеблется в пределах  $10^6 - 10^{13}$  Ом·см.

Таким образом, полученные различными авторами результаты, как правило, очень трудно связать между собою, так как нельзя указать единую причину появления электрических зарядов и предугадать количество и знак зарядов, образовавшихся при трении или соприкосновении двух тел. В процессе трения повышается поляризация и деполяризация молекул вследствие увеличения подвижности диполей из-за выделения тепла и более легкой ориентации диполей, что приводит к накоплению электрического заряда, а следовательно – к электризации. Электрические заряды могут возникать не только при трении, но и при растяжении и сжатии [12]. Поэтому разработка способов снижения или устранения электризуемости синтетических волокнистых материалов имеет важное значение.

Одним из таких способов является обработка изделий из ацетатных и синтетических волокон антистатиками, которые, поглощая влагу или вступая с ней во взаимодействие, образуют на поверхности

материала слой, способствующий рассеиванию зарядов и тем самым снижающих электризуемость материала [13–15].

Другим способом снижения электризуемости материалов является поверхностная компенсация зарядов [16]. При изготовлении текстильных полотен компоненты волокнистого состава подбирают таким образом, чтобы при трении на поверхности волокон образовывались заряды противоположных знаков, в результате чего происходила бы их взаимная нейтрализация. Таким образом, сочетание гидрофильных и гидрофобных волокон, волокон, накапливающих заряды противоположных знаков, снижает электризуемость.

Следует также подчеркнуть, что определяющее влияние на электрические свойства волокнистых материалов оказывает их поверхность [17, 18]. Состояние поверхности, в свою очередь, тесно связано с содержанием на ней функциональных групп. Направленное изменение их содержания, которое, по сути дела, является функционализацией волокон, может служить действенным путем регулирования, например, гидрофильных свойств, а, соответственно, величины электропроводности текстильного материала.

На сегодняшний день данные касательно изменения электропроводности в результате проведения функционализации поверхности ПАН-волоконистых материалов, а также корреляция с другими потребительскими свойствами, например, гидрофильностью, отсутствуют.

Целью данной работы является изучение влияния функционализации поверхности материала на основе ПАН-волокон с использованием реакции Радзишевского на электропроводность волокнистого материала.

### Объекты и методы исследования

Объектом функционализации служил нитрон Д, полученный по диметилформамидному способу из сополимера на основе акрилонитрила (“Полимир”, Республика Беларусь). Состав сополимера: акрилонитрил – 91%, метилакрилат – 8%, АМПС (2 – акриламид – 2 метил – пропансульфоукислота) – 1%.

Для обработки волокнистого материала на основе ПАН-волокон использовали различное количество 35-процентного раствора перекиси водорода в присутствии аммиачной: (рН=10,5) и тетраборатной (для рН=8,0) буферных систем [19].

Для исследования электропроводности использовали образцы на основе ПАН-волокон в виде трикотажа (гладь одинарного кулирного переплетения). Исследования проводили согласно [20]. Образцы готовили в соответствии с ГОСТ 8844-58 размером 100x200 мм. Для проведения испытания применяли прибор марки ИЭТП-1М. Перед испытанием пробы выдерживали в климатических условиях в подвешенном состоянии по ГОСТ 10681-63.

### Результаты и их обсуждения

Электризуемость как физическая величина определяется следующими показателями: напряженностью электрического поля, величиной заряда, поверхностной плотностью, полярностью заряда, удельным объемным сопротивлением, удельным поверхностным сопротивлением [21]. В свою очередь, если электризуемость характеризуется появлением электрических зарядов на их поверхности при трении волокон готового изделия, то электропроводность подразумевает возможность возникновения электрического тока. Поскольку ток проводимости – процесс переноса зарядов, то основными условиями электропроводности являются: наличие в данной среде заряженных частиц (носителей заряда), некоторая подвижность этих носителей, обеспечивающая перемещение их под влиянием сил электрического поля. Электропроводность в отличие от электризуемости определяется не только поверхностью, но и массой волокна. Таким образом, для оценки функционализованного ПАН-волоконистого материала использовали характеристику удельного поверхностного электрического сопротивления в Ом\*м (далее УПЭС).

Важными факторами, влияющими на электризацию материала, являются влажность воздуха и скорость относительного движения контактирующих поверхностей. Причем при относительной влажности воздуха 85 % и более процесс электризации практически не проявляется, так как электрическое сопротивление увлажненной ткани уменьшается, и возникающий фрикционный электростатический заряд быстро уменьшается в результате обычной проводимости. При незначительной влажности воздуха, когда электрическое сопротивление ткани велико, стекание электрического заряда с наэлектризованной одежды происходит посредством искрового разряда между ней и металлическими, диэлектрическими частями оборудования или землей. Энергия такой электрической искры может оказаться достаточной для воспламенения горючей или взрывоопасной смеси [21–23].

Ранее [24] нами было исследовано влияние функционализации поверхности на химические превращения на поверхности и в объеме ПАН-волоконистого материала и показано, что реакция Радзишевского при определенных условиях (варьируя концентрацию перекиси водорода и рН среды проведения реакции) происходит непосредственно на поверхности волокна. Таким образом, ПАН-волоконистый функционализированный материал можно рассматривать как систему слоев: 1) основной объем волокна; 2) переходной или межфазный нанослой, который является буферным при проведении, например, процесса крашения [25]. Если на обеих контактных поверхностях существуют заряды различных знаков, то при их соприкосновении происходит перераспределение зарядов в соответствии со взаимным сродством поверхностей и частиц. Такого рода механизм возникновения заряда может обеспечить довольно высокие

его плотности [25]. Этот эффект будет особенно сильно выражен с ионной конечной группой. В этом случае ион полимера прочно удерживается радикалом и на его поверхности существует ион противоположного знака.

В работах [13, 16, 26, 27] проведено исследование влияния поверхностной модификации волокон на капиллярные свойства синтетических текстильных материалов. Показано значительное повышение гидрофильности, в результате чего уменьшается электризуемость. Нами было исследовано влияние проведения функционализации поверхности на гидрофильные свойства волокнистого материала на основе ПАН [25, 27] – капиллярность трикотажного полотна возрастает с повышением количества перекиси водорода.

На рис. 1, 2 показана графическая зависимость  $\lg$  удельного поверхностного электрического сопротивления от достигаемой в процессе обработки капиллярности трикотажного ПАН-волокнистого материала при различных условиях проведения функционализации. Зависимость описывается линейной корреляционной зависимостью:  $y = a + bx$ , где  $a_1 = 2.55 \pm 0.02$ ,  $b_1 = -6.52 \pm 0.1$ , (рис. 1) и  $a_2 = 2.45 \pm 0.02$ ,  $b_2 = -6.45 \pm 0.05$  (рис. 2) с коэффициентом корреляции 0,97 и 0,98 соответственно.

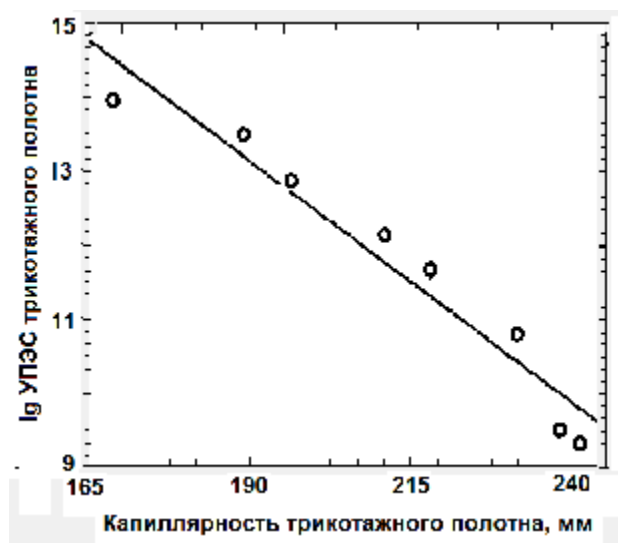


Рис. 1. Зависимость  $\lg$  удельного поверхностного электрического сопротивления от достигаемой в процессе обработки капиллярности трикотажного ПАН-волокнистого материала при  $\text{pH}=8,0$

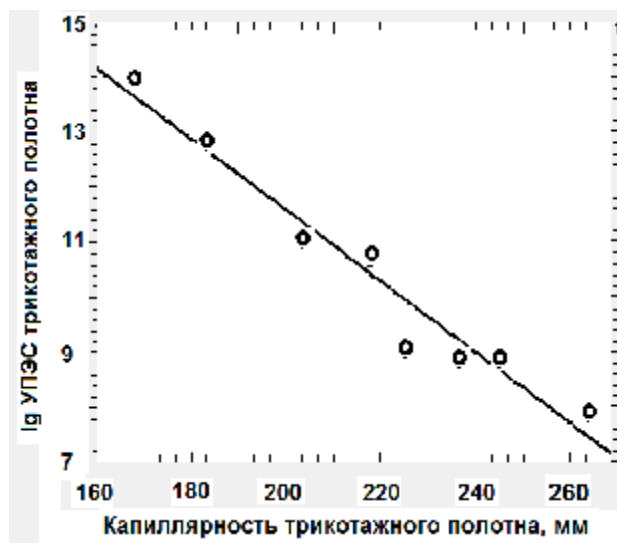


Рис. 2. Зависимость  $\lg$  удельного поверхностного электрического сопротивления от достигаемой в процессе обработки капиллярности трикотажного ПАН-волокнистого материала при  $\text{pH}=10,5$

Графические зависимости (рис. 1, 2) показывают, что в результате проведения функционализации поверхности электропроводность волокнистого материала уменьшается на несколько порядков.

### Выводы

- Реакция Радзишевского является эффективной при проведении функционализации поверхности материала на основе ПАН-волокон – приводит к уменьшению показателя электропроводности. Таким образом, во время эксплуатации готового продукта будет происходить более интенсивный и быстрый процесс стекания образовавшихся зарядов, что, в свою очередь сводит к минимуму количество накопленных зарядов.

Наличие четкой корреляции между удельной электропроводностью и капиллярностью волокнистых материалов, с одной стороны, свидетельствует о протекании реакции Радзишевского на поверхности волокна, а с другой – об улучшении гигиенических свойств волокнистых материалов на основе ПАН-волокон.

### Литература

1. Геллер Б.Э. Состояние и перспективы развития производства полиакрилонитрильных волокон / Б.Э. Геллер // Химические волокна. – 2002. – № 3. – С. 3–11.
2. Пакшвер Э.А. / В кн. : Карбоцепные волокна / Под редакцией К.Е. Перепелкина. – М. : Химия, 1973. – С. 7–163.
3. Узунова С.В. Гигиена детской одежды из синтетических и искусственных материалов (производимых в Н.Р.Б.) : автореферат на соискание ученой степени к.м.н. / Узунова С.В. – М., 1976.
4. Радовицкий В.П. Электродинамика текстильных волокон (поведение волокон в электрических полях) / В.П. Радовицкий, Б.Н. Стрельцов. – М. : Легкая индустрия, 1967. – 432 с.
5. Полоник П.А. Борьба со статическим электричеством в текстильной и легкой промышленности /

П.А. Полоник. – М. : Легкая индустрия, 1966. – 186 с.

6. Полоник П.А. Исследование возможности и разработка методов устранения электростатических зарядов при переработке искусственных и синтетических волокон / П.А. Полоник // дисс. канд. техн. наук. – М. : 1960. –150 с.

7. Levy J. Relation of Charge to frictional Work in the static electrification of filaments. Text. Res. J. 27, 1968, 11, p. 897

8. Алексеева Л.В. Теоретические аспекты прогнозирования электростатических свойств текстильных материалов / Л.В. Алексеева // Химические волокна. – 2007. – № 3. – С. 42–43.

9. Панченко Г.В. Контроль электрического сопротивления текстильных волокон / Г.В. Панченко, П.Л. Гефтер, Т.М. Журавлева // Текстильная промышленность. – 1985. – № 2. – С. 59–61.

10. Юряев В.П. Электростатические заряды на текстильных материалах / В.П. Юряев // Текстильная промышленность. – 1968. – № 3. – С. 54–57.

11. Тугеев К. С. Прибор для измерения электропроводности текстильных материалов / К. С. Тугеев // Текстильная промышленность. – 1964. – № 4. – С. 64–66.

12. Черунова И.В. Природа процесса электризации текстильных материалов / И.В. Черунова, А.В. Меркулова, И.Ю. Бринк // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6.

13. Бойко О.Г. Вплив обробок поверхнево-активними речовинами на гідрофільні властивості текстильних матеріалів / О.Г. Бойко, С.А. Карван, О.А. Параска // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 2. – С. 101–106.

14. Карван С.А. Теоретичні основи поверхневої модифікації синтетичних текстильних матеріалів / С.А. Карван, О.Г. Бойко, Г.Т. Бубенщикова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011. – № 2/6 (50). – С. 9–14.

15. Анализ и решение проблемы электризации волокнистых материалов на основе ПАН-волокон: материалы региональной научно-практической конференции [“Сучасні хімічні технології: екологічність, інновації, ефективність”], (Херсон, 17–18 квітня 2013 р.) – Херсон : Херсонський національний технічний університет, 2013. – 100 с.

16. Пророкова Н.П. Направленное изменение свойств поверхности волокнистых материалов в процессах химико-текстильного производства : дис. ... док-а техн. наук : 05.19.02 / Пророкова Наталия Петровна. – Иваново, 2006. - 392 с.

17. Кукин Г.Н. Текстильное материаловедение (текстильные полотна и изделия) / Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев, А.Н. Кобляков. – М. : Легкопромбытгиздат, 1992. – 354 с.

18. ГОСТ 4919.2-77 Реактивы и особо чистые вещества. Методы приготовления буферных растворов.

19. ГОСТ 19616-74 Ткани и трикотажные полотна. Метод определения удельного поверхностного электрического сопротивления

20. Гефтер П.Л. Электростатические явления в процессах переработки химических волокон / П.Л. Гефтер. – М. : Легпромбытгиздат, 1989. – 272 с.

21. Меркулова, А.И. Электризуемость синтетических материалов, применяемых для одежды, и пути ее снижения / А.И. Меркулова. // Материалы семинара «Методы борьбы и средства защиты организма от статического электричества». – М. : МДНТП, 1968. – С. 184–192.

22. Радовицкий В.П. Электродинамика текстильных волокон / В.П. Радовицкий, Б.Н. Стрельцов. – М. : Легкая индустрия, 1967. – С. 10–140.

23. Исследование волокнистых материалов на основе ПАН после функционализации поверхности / Н.А. Бардаш, Н.В. Гудзенко, О.А. Гаранина, О.В. Романкевич // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 1. – С. 243–247.

24. Романкевич О.В. Капиллярность волокнистых материалов / О.В. Романкевич, О.А. Гаранина, Н.А. Бардаш // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2013. – № 1.

25. Повышение гидрофильности полиэфирных волокон и тканей из них путем обработки растворами солей металлов / О.В. Михайлова, Н.Н. Павлов, В.М. Баранцев, С.В. Дехтярев // Химические волокна. – 2008. – № 2. – С. 20–21.

26. Егорова О.С. Влияние природы волокон и их поверхностной модификации на смачивание и капиллярность текстильных материалов : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец.05.19.02 “Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья” / О.С. Егорова. – М., 2010. - 16с.

27. Романкевич О.В. Смачивание поверхности волокон жидкостью / О.В. Романкевич, О.А. Гаранина, Н.А. Бардаш // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 1. – С. 235–238.

#### References

1. Heller В.Е. Sostoyanie i perspektivy razvitiya proizvodstva poliakrilonitrilnykh volokon / В.Е. Heller // Khimicheskie volokna. – 2002. - №3. – pp. 3-11.

2. Pakshver E.A. / V kn.: Karbotsepyne volokna / Pod redaktsyei K.E. Perepelkina. – М.: Khimiya, 1973. – pp.7-163.

3. Uzunova S.V. Gigiena detskoj odezhdy iz sinteticheskikh i iskusstvennykh materialov (proizvodimyykh v N.R.B.). Avtoreferat na soiskanie uchenoi stepeni k.m.n. М.: 1976.

4. V.P. Radovitskiy, B.N. Streltsov *Elektrodinamika tekstilnykh volokon (povedenie volokon v elektricheskikh poliakh)*. - M.: Lehkaia industriya, 1967. - 432 p.
5. Polonik P.A. *Borba so staticheskim elektrichestvom v tekstilnoi i lehkoi promyshlennosti*. - M.: Lehkaia industriya, 1966. - 186 p.
6. Polonik P.A. *Issledovanie vozmozhnosti i razrabotka metodov ustraneniya elektrostatičeskikh zariadov pri pererabotke iskusstvennykh i sinteticheskikh volokon* // Diss. kand. tekhn. nauk.- M.: 1960 150 p.
7. Levy J. *Relation of Charge to frictional Work in the static electrification of filaments*. Text. Res. J. 27, 1968, 11, p. 897
8. Alekseeva L.V. *Teoreticheskie aspekty prognozirovaniya elektrostatičeskikh svoystv tekstilnykh materialov* / L.V. Alekseeva // *Khimicheskie volokna*. – 2007. - №3. – pp.42-43
9. Panchenko H.V. *Kontrol elektricheskogo soprotivleniya tekstilnykh volokon* / H.V. Panchenko, P.L. Hefter, T.M. Zhuravleva // *Tekstilnaya promyshlennost*. – 1985. - №2. – pp.59-61.
10. Yuriaev V.P. *Elektrostatičeskije zariady na tekstilnykh materialakh* / V.P. Yuriaev // *Tekstilnaya promyshlennost*. – 1968. - №3. – pp.54-57.
11. Tuheev K. S. *Pribor dlia izmereniya elektroprovodnosti tekstilnykh materialov* // *Tekstilnaia promishlennost*. – 1964. - №4. – pp. 64-66.12.
12. Cherunova I.V., Merkulova A.V., Brink I.Yu., Kolesnik S.A., Shchenikova E.A., Kniazeva S.V. *Ppriroda protsessa elektrizatsii tekstilnykh materialov*. // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* - 2012.-№6.
13. Boiko O.H. *Vplyv obrobov poverkhevo-aktyvnymy rečovynamy na hidrofилни vlastyvostry tekstylnykh materialiv* / O.H. Boiko, S.A. Karvan, O.A. Paraska // *Visnyk Khmelnytskogo natsionalnogo universytetu*. – 2012. - №2. - pp.101-106.
14. Karvan S.A., Boiko O.H., Bubenshchykova H.T. *Teoretychni osnovy poverkhevoi modyfikatorii syntetychnykh tekstylnykh materialiv*// *Skhidno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnolohii*. – 2011. - № 2/6 (50). – pp. 9-14.
15. *Analiz i reshenie problemy elektrizatsii voloknistykh materialov na osnove PAN-volokon: materialy rehionalnoi naukovopraktychnoi konferentsii* [“Suchasni khimichni tekhnolohii: ekolohichnist, innovatsii, efektyvnist”], (Kherson, 17-18 kvitnia 2013 r.) – Kherson: Khersonskiy natsionalnyi tekhnichnyi universytet, 2013. – 100 p.
16. Prorokova N.P. *Napravlennoe izmenenie svoystv poverkhnosti voloknistykh materialov v protsessakh khimiko-tekstilnogo proizvodstva: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni doktora tekhnicheskikh nauk: 05.19.02 / Prorokova Nataliya Petrovna*. – Ivanovo, 2006. - 392 p.
17. Kukin H.N., Solovov A.N., Kobliakov A.N. *Tekstilnoe materialovedenie (tekstilnye polotna i izdeliya)*. - M.: Lehkoprombytizdat, 1992.
18. GOST 4919.2-77 *Reaktivy i osobo chistye veshchestva. Metody prihotovleniya bufernykh rastvorov*.
19. GOST 19616-74 *Tkani i trikotazhnye polotna. Metod opredeleniya udelnogo poverkhnostnogo elektricheskogo soprotivleniya*
20. Hefter, P.L. *Elektrostatičeskije yavleniya v protsessakh pererabotki khimicheskikh volokon [Tekst]* / P.L. Hefter. – M.: Lehprombytizdat, 1989. – 272 p.
21. Merkulova, A.I. *Elektrizuemost sinteticheskikh materialov, primeniaemykh dlia odezhdyy, i puti ee snizheniya* / A.I. Merkulova. // *Materialy seminara «Metody borby i sredstva zashchity orhanizma ot staticheskogo elektrichestva»*. M., MDNTP, 1968, pp. 184-192.
22. Radovitskiy V.P. *Elektrodinamika tekstilnykh volokon* / V.P. Radovitskiy, B.N. Streltsov. – M.: Lehkaia industriya, 1967. – pp. 10-140.
23. Bardash N.A. *Issledovanie voloknistykh materialov na osnove PAN posle funktsyonalizatsii poverkhnosti* / N.A. Bardash, N.V. Hudzenko, O.A. Haranina, O.V. Romankevich // *Visnyk Khmelnytskogo natsionalnogo universytetu*. – 2013. - №1. – pp.243-247.
24. Romankevich O.V., Haranina O.A., Bardash N.A. *Kapillyarnost voloknistykh materialov* // *Yzvestiya vysshykh uchebnykh zavedenyi. Tekhnolohiya lehkoy promyshlennosti*. – 2013. - №1.
25. Mikhailova O.V. *Povyshenie hidrofилnosti poliefirnykh volokon i tkanei iz nikh putem obrabotki rastvorami solei metallov* / O.V. Mikhailova, N.N. Pavlov, V.M. Barantsev, S.V. Dekhtiarev // *Khimicheskie volokna*. – 2008. - №2. - pp.20-21.
26. Egorova O.S. *Vliyanie prirody volokon i ikh poverkhnostnoi modyfikatorii na smachivanie i kapillyarnost tekstilnykh materialov: avtoref. dis. na soiskanie uchenoi stepeni kand. tekhn. nauk: spets.05.19.02 “Tekhnolohiya i pervychnaia obrabotka tekstilnykh materialov i syria”* / O.S. Egorova. – M., 2010. – 16p.
27. Romankevich O.V. *Smachivanie poverkhnosti volokon zhydkostiui* / O.V. Romankevich, O.A. Haranina, N.A. Bardash // *Visnyk Khmelnytskogo natsionalnogo universytetu*. – 2013. - №1. – pp.235-238.

Рецензія/Peer review : 1.6.2013 р. Надрукована/Printed :26.9.2013 р.  
Рецензент: д.т.н., проф., зав. кафедрой МТПХВ (КНУТД) Супрун Н.П