

УДК 641. 1

**СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СВЯЗИ РЕЗИН
С ТЕКСТИЛЬНЫМИ КОРДАМИ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН**

**A METHOD FOR INCREASING THE BOND STRENGTH OF RUBBERS
WITH TEXTILE CORDS MADE OF SYNTHETIC FIBERS**

*Г.З. ТУРЕБЕКОВА¹, Г.Ф. САГИТОВА¹, Г.Б. АЛПАМЫСОВА²,
Э.Б. ЖАППАРБЕРГЕНОВА², Л. АБИЛХАЙМКЫЗЫ¹, М.Т. СИХИМБАЕВА¹*

*G.Z. TUREBEKOVA, G.F. SAGITOVA, G.B. ALPAMYSSOVA,
E.B. ZHAPPARBERGENOVA, L. ABILHAIMKYZY, M.T. SIKHIMBAYEVA*

¹Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова, Республика Казахстан,
²Южно-Казахстанский государственный педагогический университет, Республика Казахстан)

¹M. Auezov South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan,
²South Kazakhstan State Pedagogical University, Republic of Kazakhstan)

E-mail: g.ture@mail.ru

В статье рассмотрены результаты исследований по возможности повышения адгезии резины к текстильному корду из капрона. Обрезиненный капроновый корд используется для производства шин в качестве каркаса и обладает рядом преимуществ по сравнению с кордом из хлопка, но капроновый корд обладает низкой прочностью сцепления с резиной.

Для улучшения прочности связи резины с капроновым кордом предлагается использование в пропиточном составе нового водорастворимого полимера МЭПАН с высокой поверхностной активностью, полученного из отходов волокна нитрон. Результаты экспериментов показали, что прочность связи резин с капроновым кордом, обработанным пропиточным составом с МЭПАНом при 110°C, на 27% выше, чем с капроновым кордом, обработанным обычным пропиточным составом.

Кроме повышения усталостных свойств, положительной стороной процесса термообработки пропиточным составом с МЭПАН является фиксация удлинения этого волокна с одновременным повышением прочности; у обработанного по предлагаемому способу это изменение составляет всего 3,4. Применение такого корда в резинотехнических изделиях позволит значительно продлить срок службы этих изделий.

Кроме того, обработанный предлагаемым способом корд имеет более высокие механические показатели и может быть использован в шинной промышленности благодаря высоким усталостным свойствам и стабилизации удлинения.

The article considers the results of studies on the possibility of increasing the adhesion of rubber to textile cord made of nylon. Rubberized nylon cords are used for the production of tires as a frame and have a number of advantages compared to cotton cord, but nylon cord has low adhesion strength to rubber.

To improve the bond strength of rubber with nylon cord, it is proposed to use a new water-soluble polymer MEPAN with high surface activity, obtained from Nitron fiber waste, in the impregnation composition. The results of the experiments showed that the bond strength of rubbers with nylon cord treated with impregnation composition with MEPAN at 110°C is 27 % higher than with nylon cord treated with conventional impregnation composition.

In addition to increasing the fatigue properties, the positive side of the heat treatment process with impregnation composition with MEPAN is the fixation of the elongation of this fiber with a simultaneous increase in strength, in the treated according to the proposed method, this change is only 3.4. The use of such a cord in rubber products will significantly extend the service life of these products.

In addition, the processed cord with higher mechanical performance, processed by the method, can be used in the tire industry due to the high fatigue properties and stabilization of elongation.

Ключевые слова: шины, пропиточные составы, капроновый корд, резинкордные детали, функциональные группы, каучук, адгезия, эластомерная матрица.

Keywords: tires, impregnating compositions, nylon cord, rubber-cord details, the functional groups of the rubber, the adhesion, the elastomeric matrix.

В настоящее время социальные и экономические достижения любой страны во многом определяются развитием производства полимеров. Однако их производство связано с большим количеством энергетических, материальных и трудовых затрат. В то же время необходимость повышения качества выпускаемых изделий требует создания новых композиционных материалов и усовершенствования существующих. Свойства полимерных композиционных материалов (ПКМ) могут быть значительно улучшены, а изделия на их основе экономичнее при введении в них разнообразных модификаторов. Натуральные волокна, материалы бумажных, деревообрабатывающих и целлюлозных производств в настоящее время являются объектами повышенного внимания разработчиков ПКМ. В значительной мере это относится к пробковой крошке, являющейся отходом строительных, протезных производств. Существующий материал на основе полиуретана (ПУ) и измельченной коры пробкового дуба

ПРОБКУР-В не обладает достаточной химической стойкостью и экономичностью, что ограничивает область его использования. Расширить область его применения и удешевить позволяет использование смеси уретанового и бутадиен-нитрильного каучуков (ПРОБКУР-N) [1].

ПКМ, армированные волокнами, широко применяются в шинной промышленности. Для создания каркаса шин используют полиамидные (ПА) и полиэфирные (ПЭ) корды. Основным их недостатком является плохая адгезия к резине. Повышение адгезионной прочности достигается за счет их химической или физической обработки. Несмотря на большое количество работ в этой области, до сих пор не найдены оптимальные условия обработки, позволяющие повысить адгезию корда к резине. В связи с этим перспективным является использование в пропиточном составе нового водорастворимого полимера МЭПАН (полиакрилонитрил модифицированный моноэтанол амином) с высокой поверхностной актив-

ностью, полученный из отходов волокна нитрон [2].

Известны различные типы модификаторов, улучшающих адгезионные свойства резины. Модификаторы, диффундируя из резины в граничные области адгезивов, могут оказывать влияние на их свойства. Поэтому применение новых модификаторов в обкладочных резинах может потребовать новых подходов к рецептуростроению адгезивов. Это обуславливает необходимость дальнейшего развития представлений о свойствах граничных областей.

Сегодня резинотекстильные изделия – это широкий класс самых необходимых изделий в нашей жизни и технике. Они включают большое число разных видов, в том числе следующие:

- автомобильные, авиационные и другие виды шин;
- передаточные элементы устройств для перемещения различных материалов (конвейерные ленты, рукава, шланги);
- гибкие тяговые связи передач (приводные ремни, гусеничные ленты и др.);
- воздухо- и водоплавательные средства (аэростаты, надувные лодки, плоты, понтоны и др.);
- устройства безопасности в авто- и авиатранспорте (надувные трапы, подушки безопасности и др.);
- пневматические строительные конструкции (сборно-разборные промышленные, сельскохозяйственные, общественные и жилые здания и сооружения и др.), а также надувная мебель;
- средства защиты человека (костюмы, фартуки) и многие другие.

Особенностью резинотекстильных изделий является то, что они почти всегда создаются как конструкции и их в большинстве случаев получают путем соединения текстильного армирующего наполнителя и резиновых заготовок с последующей вулканизацией [3].

Резинотекстильные изделия, в основном, работают в условиях преимущественного воздействия растягивающих нагрузок; они легко деформируются также при воздействии изгибающих или сжимающих нагрузок. В резинотекстильных материалах

основным структурным элементом являются нити или системы нитей. Нити могут состоять из волокон (пряжа) или являться непрерывными химическими нитями. Входящие в их состав волокна или элементарные нити (филаменты) объединены в единый структурный элемент путем обязательной крутки и пропитаны связующим резиновым компонентом. Важнейшим условием армирования резинотекстильных материалов и изделий является низкое значение модуля деформации матрицы (резины) по сравнению с нитями $E_m \ll E_n$.

Резинотекстильные изделия представляют собой специально созданные изделия – конструкции с заданным расположением волокнистого наполнителя в направлении растягивающих нагрузок и находящихся между ними слоев резины. Слои резины вследствие малого модуля деформации и высокой деформативности почти не препятствуют изгибающим и сжимающим нагрузкам.

Для изготовления (армирования) резинотекстильных изделий (транспортных лент, приводных ремней, шлангов и других), а также автомобильных и авиационных шин, применяются текстильные материалы – технические нити, бельтинги, кордные ткани. Основные виды технических нитей, используемых в качестве исходных для армирующих текстильных структур – это вискозные (в настоящее время их применение невелико), алифатические полиамидные (полиамид 6 – капрон и полиамид 66 – анид), полиэфирные. Для тяжело нагруженных шин используются параполиамидные нити. Для специальных видов шин иногда используются углеродные, стеклянные и металлические нити. Для некоторых видов шин и других резинотекстильных изделий пока еще традиционно используются гидратцеллюлозные (вискозные) технические нити. В очень редких случаях пока еще применяются хлопчатобумажные нити (пряжа) [4].

Механические свойства резинотекстильных изделий определяются при полцикловых, одноцикловых и многоцикловых испытаниях (цикл включает стадии нагрузки, разгрузки и "отдыха" образца).

При полуцикловых испытаниях, включающих только стадию нагрузки, определяют абсолютную и относительную прочность, напряжение при разрыве и разрывную длину армирующих нитей, их относительное удлинение и модуль деформации при растяжении, который условно оценивают как нагрузку при заданном небольшом удлинении или удлинении при заданной небольшой нагрузке [5].

Выносливость кордных нитей при многократных деформациях в различных условиях определяют с помощью многоцикловых испытаний. Этот показатель оценивают по количеству циклов нагружения до разрушения образца или по относительному падению прочности после заданного количества циклов.

При многоцикловых испытаниях нити многократно подвергают различным видам деформации: растяжению, изгибу, удару на копрах, сжатию и изгибу в резинотекстильных образцах. Кроме того, проводят испытания на сопротивление расслоению резинотекстильной системы при деформациях сдвига и сжатия, при которых на границе резина–нить возникают касательные напряжения. Таким образом оценивается адгезия армирующих нитей к резине в режиме многократного нагружения.

Для армирующих нитей определяют влагостойкость или относительную потерю прочности во влажном состоянии.

Важнейшими условиями нормальной эксплуатации резинотекстильных изделий, особенно подвергаемых длительным многократным деформациям, является сохранение длительной адгезионной связи армирующих нитей с резиной [6].

Корд в автомобильных шинах в настоящее время изготавливается из различных видов искусственных и синтетических волокон, что обеспечивает высокую ходимость шин. Наибольший эффект дает применение синтетического волокна. Корд является основным несущим элементом, а за счет резины – высокая прочность сцепления деталей покрышки. При создании паке-ров, воспринимающих перепады давления до 30 МПа, эластичные камеры бронируются по наружному диаметру рядами тон-

костенной стальной ленты или проволочной сеткой. Корд укладывается в каркасе покрышки слоями, соединенными между собой резиновыми прослойками, что способствует прочному соединению отдельных слоев кордной ткани, предотвращает перетиравание нитей друг о друга и защищает их от действия влаги. Слои корда в покрышке находятся один над другим, отдельные нити в этих слоях разделены резиной и не соприкасаются друг с другом как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Корд в каркасе автошины все время находится в напряженном состоянии, так как воспринимает давление сжатого воздуха. При толчках и ударах, которые возникают при движении автомобиля, корд воспринимает дополнительную нагрузку и испытывает дополнительные деформации. Если движение шины происходит по ровной дороге или встречающиеся препятствия и неровности имеют небольшую высоту, то деформации и напряжения, которые испытывает корд в покрышке, меньше критических деформаций и напряжений при разрыве корда. При встрече шины с препятствием большой высоты или с препятствиями, имеющими острые выступающие углы, напряжения и деформации в корде могут достичь критических значений, и тогда происходит разрыв корда. Разрыв корда и разрушение резины в каркасе может происходить и при нормальных условиях вследствие усталости материала, наступающей при многократных деформациях при небольших величинах деформаций и нагрузок по сравнению с критическими. Поэтому имеет большое значение качество текстильного корда и качество сцепления корда с резиной, то есть адгезия резины к текстильному корду. От этих показателей зависит безопасность и срок службы шин [7].

Исследованиями межфазного взаимодействия в зоне контакта корд-адгезив и непропитанный корд-резина установлено следующее.

В результате взаимодействия резорцинформальдегидной смолы с ОН-группами вязкого, NH-CO и концевыми NH₂ и COOH – группами корда возникают кова-

лентные и водородные связи, что было показано на модельных системах с помощью методов ИК-спектроскопии и меченых атомов. При взаимодействии полимеров адгезива, содержащего O, N, COOH -группы, звенья 2-винилпиридина, с функциональными группами вискозного и капронового корда возникают соответственно водородные и другие физические связи. В области контакта адгезив-резина в результате взаимодействия активных групп полимера адгезива и резорцин-формальдегной смолы с каучуковой основой резины могут возникать ковалентные, ионные, водородные связи в различной концентрации. Таким образом, в зоне контакта резинорезинной системы возникают межфазные связи различной природы:

- ковалентные, с энергией связи более 100 кДж/моль, так называемые прочные связи;

- лабильные водородные и ионные связи, энергия которых составляет в среднем от 20 до 45 кДж/моль.

По прочности эти связи уступают ковалентным, но отличаются от них малой энергией активации образования (от 2,0 до нескольких десятков кДж/моль) и поэтому способны к рекомбинации. Кроме того, между адгезивом и субстратом в резинорезинной системе могут возникать наиболее слабые молекулярные физические связи с энергией 2,0...8,0 кДж/моль, обусловленные действием сил Ван-дер-Ваальса. Наиболее высокая прочность адгезионных соединений достигалась при наличии в области контакта прочных межфазных связей высокой концентрации в сочетании с лабильными [8].

Образование адгезионного соединения начинается с приведения в контакт его элементов, при этом происходит смачивание и растекание адгезива на поверхности субстрата, что способствует образованию молекулярного контакта. В зоне контакта между молекулами адгезива и субстрата действуют дисперсионные силы с образованием и других молекулярных связей. Вследствие молекулярного контакта под действием тепла при наличии в эластомерной матрице адгезива функциональных

групп, способных к реакциям с функциональными группами субстрата, образуются химические связи. Образующееся адгезионное соединение характеризуется определенной прочностью (статической и динамической или усталостной), зависящее от механических и усталостных свойств граничных (переходных) слоев. Для обеспечения высокой адгезионной прочности необходимо, чтобы механические и усталостные свойства переходных слоев приближались к соответствующим характеристикам монолитной резины. Упруго-жидкостные свойства переходных слоев должны быть промежуточными между соответствующими характеристиками адгезива и субстрата для того, чтобы свести их деформацию до минимума. При этих условиях разрушение композита будет проходить по массиву адгезива или субстрата (когезионный характер разрушения). Если субстрат имеет сильно расчлененную поверхность, как, например, кордная нить, свитая из многих тонких ниточек (стенг) или проволочек, то для достижения высокой прочности композита очень большое значение имеют реологические свойства. Для достижения молекулярного контакта необходимо, чтобы резиновая смесь в короткий промежуток времени при прохождении кордной тканью зазор каландра прошла внутрь кордной нити и вытеснила оттуда воздух и влагу [7].

Капроновый корд – это класс текстильных материалов, которые получают из искусственных волокон. Капрон получают из нефти – продукт поликонденсации капролактама. Химическая формула капрона, из которого получают капроновые волокна – $[-\text{HN}(\text{CH}_2)_5\text{CO}-]_n$. Физико-механические качества капронового корда намного выше, чем хлопчатобумажного. Капроновое волокно – бело-прозрачное, очень прочное вещество. Эластичность капрона намного выше шелка. Прочность капрона зависит от технологии и тщательности производства. Капроновая нить диаметром 0,1 миллиметра выдерживает 0,55 килограмма. Наряду с высокой прочностью капроновые волокна характеризуются устойчивостью к истиранию, действию многократной де-

формации (изгибам). Капроновые волокна не впитывают влагу, поэтому не теряют прочности во влажном состоянии. Но у капронового волокна есть и недостатки. Оно малоустойчиво к действию кислот – макромолекулы капрона подвергаются гидролизу по месту амидных связей. Сравнительно невелика и теплостойкость капрона. При нагревании его прочность снижается, при 215°C происходит плавление. Но по сравнению с хлопчатобумажным капроновый корд имеет большую однородность нити, меньшее падение прочности при повышении температуры, меньшие гистерезисные потери, лучшую сопротивляемость многократным деформациям, меньшее теплообразование при работе шины. Пробег шин, изготовленных из капронового корда, намного (на 60...70%) выше, чем у шин, изготовленных из хлопчатобумажного корда. Вследствие указанных преимуществ капроновый корд применяют при изготовлении шин, особенно при применении синтетичес-

кого каучука. В зависимости от назначения капроновый корд выпускают различным по толщине, прочности, относительному удлинению и числу круток. Повышение числа круток до известных пределов повышает усталостную прочность корда. К недостаткам капронового корда следует отнести плохое сцепление с резиной, склонность к остаточному удлинению, значительную потерю прочности при повышении температуры [5]. Для устранения этих недостатков используют процесс пропитки и термомеханической обработки. В производстве шин используются различные пропиточные составы (табл. 1), которые в процессе термомеханической обработки обволакивают волокна из капрона, образуя на их поверхности активные функциональные группы, которые затем при обрешивании корда создают химические связи между матрицей каучука, повышая таким образом, адгезию резины к текстильному корду [6].

Т а б л и ц а 1

Наименование материалов	На 100 массовых частей каучука, массов. доли	Массовая концентрация сухого остатка, %	Масса навески, кг	
			на 1000 кг состава ± 2%	по сухому остатку ± 2%
Каучук в виде латекса ДМВП-ЮХ (100%)	50,0	40,2	-	-
Каучук в виде латекса СКД-Г или СКД-ИС (100%)	50,0	40,2	-	-
Смола СФ-282 (100%)	16,5	13,3	-	-
Формальдегид (100%)	6,6	5,3	-	-
Натр едкий (100%)	1,2	1,0	-	-
Аммиак водный (25%)	3,82	-	-	-
Вода умягченная	828,03	-	-	-
Латекс ДМВП-ЮХ (26%)	-	-	201,2	52,3
Латекс СКД-Г или СКД-ИС (28%)	-	-	186,8	52,3
Поликонденсированный раствор смолы СФ-282 (5%)	-	-	508,0	25,4
Аммиак водный (25%)	-	-	4,0	-
Вода умягченная	-	-	100,0	-
Итого:	956,15	100,00	1000,0	130,00

Применяемая в пропиточном составе смола СФ -282 токсична, а также труднодоступна, поэтому нами предлагается заменить смолу на новый водорастворимый полимер, полученный из отходов волокна нитрон и обладающий высокими поверх-

ностно-активными свойствами [7], [8]. Данный полимер МЭПАН синтезирован на кафедре НПиНХ ЮКГУ им. М.Ауэзова и по своим поверхностно-активным свойствам значительно превышает смолу СФ-282. Проведенные испытания по использованию

водорастворимого полимера в пропиточном составе показали, что усталостная прочность капронового волокна повышается в три с лишним раза.

Обычный капроновый корд нестабилизированный, подвергнутый действию многократных деформаций при 130°C имеет 5 тыс. циклов до разрушения, обычный стабилизированный корд имеет 36 тыс. циклов до разрушения, а у стабилизированного корда выносливость к действию многократных деформаций повышается до 540 тыс. циклов. Кроме повышения усталостных свойств, положительной стороной процесса термообработки пропиточным составом с МЭПАНа является фиксация удлинения этого волокна с одновременным повышением прочности, у обработанного по предлагаемому способу это изменение составляет всего 3,4. Применение такого корда в резинотехнических изделиях позволит значительно продлить срок службы этих изделий. Кроме того, обработанный корд с более высокими механическими показателями, обработанный способом, предложенным выше, может быть использован в шинной промышленности благодаря высоким усталостным свойствам и стабилизации удлинения.

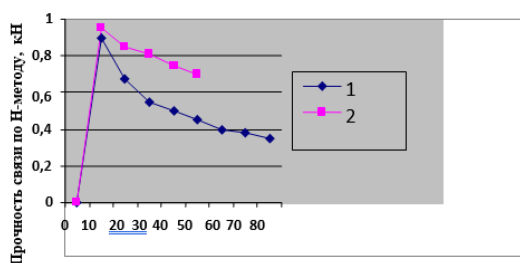


Рис. 1

При исследованиях были использованы пропиточные составы с различной концентрацией МЭПАНа. МЭПАНа содержит большое количество метилольных групп, способных к взаимодействию с гидроксильными группами капрона, кроме того, может образовывать водородные связи с амидными группами капроновых волокон. Между концентрацией МЭПАНа и адгезионной прочностью наблюдается четко выраженная экстремальная зависимость (рис. 1 – зависимость прочности резины на

основе СКИ-3 с вязкозным (1) и капроновым (2) кордами от концентрации МЭПАНа).

Основной причиной, по нашему мнению, существенного возрастания прочности связи в резинокордных системах с кордом из искусственных и синтетических волокон при введении МЭПАНа в пропиточный состав является образование большого количества различных физических связей между эластомерной матрицей резиновых смесей и пропитанным кордом.

ВЫВОДЫ

Положительное влияние на прочность связи резин с капроновым текстильным кордом оказывает использование МЭПАНа в пропиточных составах. Прочность связи резин с капроновым кордом, обработанным пропиточным составом, содержащим МЭПАНа, при 110°C на 27% выше, чем с капроновым кордом, обработанным обычным пропиточным составом. Выше отмечалось, что наиболее высокие прочностные свойства резинокордных систем достигаются при образовании спектра вулканизационных и межфазных связей различной энергии. Повидимому, аналогично можно объяснить часто наблюдаемый эффект синергизма при применении в пропиточных составах ПАВ с различными типами функциональных групп, а также при сочетании продуктов, улучшающих смачивание резиновой смеси субстрата и текучесть смеси с соединениями, образующими большое количество различных видов физических связей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шмурак И.Л. Шинный корд и технология его обработки. – М.: Науч.-техн. центр "НИИШП", 2007.
2. Сырицин Л.М., Шмурак И.Л. Производство шинного корда и технология его обработки. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2006.
3. Шмурак И.Л. Шинный корд и технология его обработки. – М., 2004.
4. Сакибаева С.А., Ескараева Г.З., Тасанбаева Н.Е., Белоусов В.А., Сагитова Г.Ф., Пак Н.В., Бейсенбаев О.К. Резиновая смесь // Пред. патент. По заявке № 2000/1309.1.

5. Сакибаева С.А., Ескараева Г.З., Тасанбаева Н.Е., Белоусов В.А., Сагитова Г.Ф., Пак Н.В., Бейсенбаев О.К. Резиновая смесь // Патент. По заявке №2000/1309.1

6. Сатаев И.К., Сакибаева С.А., Сагитова Г.Ф. О применении ПАВ серии "Унифлок", "ЭПАН" в резиновой промышленности // Наука и образование Южного Казахстана. – 2002, №28. С.34...36.

7. Мырхалыков Ж.У., Туребекова Г.З., Сагитова Г.Ф., Сакибаева С.А. Возможности повышения адгезии резины к текстильному корду из искусственных волокон // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №1. С. 49...53.

8. Туребекова Г.З., Сагитова Г.Ф., Сакибаева С.А., Наукенова А.А., Пусурманова Г.Ж. Пути повышения прочности связи системы резина - вискозный текстильный корд // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №3. С. 67...70.

REFERENCES

1. Shmurak I.L. Shinnyy kord i tekhnologiya ego obrabotki. – М.: Nauch.-tekhn. tsentr "NIIShP", 2007.

2. Syritsin L.M., Shmurak I.L. Proizvodstvo shinogo korda i tekhnologiya ego obrabotki. – Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet, 2006.

3. Shmurak I.L. Shinnyy kord i tekhnologiya ego obrabotki. – М., 2004.

4. Sakibaeva S.A., Eskaraeva G.Z., Tasanbaeva N.E., Belousov V.A., Sagitova G.F., Pak N.V., Beysenbaev O.K. Rezinovaya smes' // Pred. patent. Po zayavke № 2000/1309.1.

5. Sakibaeva S.A., Eskaraeva G.Z., Tasanbaeva N.E., Belousov V.A., Sagitova G.F., Pak N.V., Beyenbaev O.K. Rezinovaya smes' // Patent. Po zayavke №2000/1309.1

6. Sataev I.K., Sakibaeva S.A., Sagitova G.F. O primeneniі PAV serii "Uniflok", "EPAN" v rezinovoy promyshlennosti // Nauka i obrazovanie Yuzhnogo Kazakhstana. – 2002, №28. S.34...36.

7. Myrkhal'kov Zh.U., Turebekova G.Z., Sagitova G.F., Sakibaeva S.A. Vozmozhnosti povysheniya adgezii reziny k tekstil'nomu kordu iz iskusstvennykh volokon // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2015, №1. S. 49...53.

8. Turebekova G.Z., Sagitova G.F., Sakibaeva S.A., Naukenuva A.A., Pusurmanova G.Zh. Puti povysheniya prochnosti svyazi sistemy rezina - viskoznyy tekstil'nyy kord // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, №3. S. 67...70.

Рекомендована кафедрой нефтепереработки и нефтехимии. Поступила 22/01/20.