

УДК 676.035

ЭЛЕКТРО-ИЗОЛЯЦИОННАЯ ТЕРМОСТОЙКАЯ БУМАГА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАРА-АРАМИДНЫХ ФИБРИДОВ И ПУЛЬПЫ В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩЕГО

Т. И. Демышок
Аспирант*

E-mail: tetyana-demysbok@yandex.ru

Л. П. Антоненко

Кандидат химических наук, доцент*

E-mail: alp56@ukr.net

*Кафедра Экологии и

технологии растительных полимеров

Национальный технический университет Украины

“Киевский политехнический институт”

пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03057

У статті досліджено можливість використання пара-арамідних фібридів і пульпи як зв'язувального пара-арамідних волокон. Вивчено вплив витрати фібридів і пульпи на основні показники некаландрованого і каландрованого термостійкого електроізоляційного паперу, такі як щільність, руйнівне зусилля, відносне видовження, опір роздиранню, електричну міцність, повітропроникність, капілярну вбирність. Виходячи з отриманих результатів, встановлено оптимальну витрату зв'язувального

Ключові слова: електроізоляційний термостійкий папір, зв'язувальне, пара-арамідні фібриди, руйнівне зусилля, електрична міцність

В статье исследована возможность использования пара-арамидных фибридов и пульпы как связующего пара-арамидных волокон. Изучено влияния расхода фибридов и пульпы на основные показатели некаландрированной и каландрированной термостойкой электроизоляционной бумаги, такие как плотность, разрушающее усилие, относительное удлинение, сопротивление раздиранию, электрическую прочность, воздухопроницаемость, капиллярную впитываемость. Исходя из полученных результатов, установлен оптимальный расход связующего

Ключевые слова: электроизоляционная термостойкая бумага, связующее, пара-арамидные фибриды, разрушающее усилие, электрическая прочность

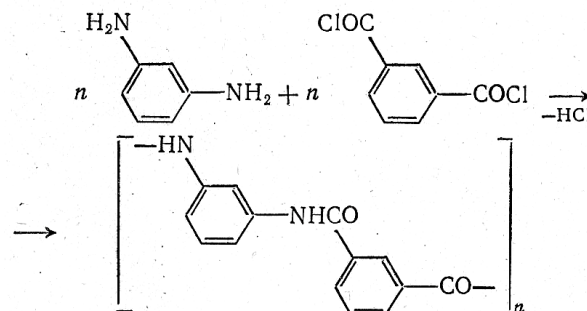
1. Введение

Термостойкость электроизоляционных материалов имеет большое значение в связи с потребностью в материалах, способных длительное время работать при повышенной температуре. Термостойкими называются волокна, которые могут быть использованы в течение десятков и сотен часов при температурах 250 – 400 °С в качестве изоляционных и конструкционных материалов [1].

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Выбор сырья для производства бумаги со специальными свойствами осуществляют исходя из химических и физических свойств полимера, используемого для производства волокон. Перспективными для получения термостойких волокон является специальный класс термостойких волокнообразующих полимеров, химическое строение которых определяет их термическую устойчивость и температурный интервал эксплуатации изделий. Наибольшее практическое применение получили продукты поликонденсации фенилендиамина и фталевых кислот. При одинаковом

составе исходных продуктов положение реакционно-способной группы в молекуле мономера оказывает существенное, а в ряде случаев решающее влияние на тепло- и термостойкость получаемых полимеров и их растворимость. Наиболее высокой термостойкостью обладает полиамид, синтезированный методом поликонденсации пара-фенилендиамина и терефталевой кислоты (температура разложения 500 – 600 °С). Волокна, полученные из этого полимера, называются пара-арамидными. Схема реакции приведена ниже:



Но этот полимер имеет плохую растворимость, и поэтому более широкое распространение получило другое направления – термостойкие волокнообразующие

щие полимеры, получаемые взаимодействием мета-фенилендиамина и изофталевой кислоты, и именуемые мета-арамидными. Из этого полимера в США вырабатывают волокно «Nomex®». Это волокно обладает высокими механическими свойствами: прочность 46 – 55 гс/текс; удлинение 20 – 40 %; плотность волокна 1,35 г/см³. Изделия из волокна «Nomex®» можно значительное время эксплуатировать при 250 °С. При температуре 280 °С волокно сохраняет 50 % начальной прочности. Температура нулевой прочности этого волокна 370 °С. После нагревания волокна «Nomex®» при 175 °С в течение 2000 часов его прочность уменьшается на 20 – 25 % (после охлаждения) [1].

В восточной Европе наибольшее распространение получило мета-арамидное волокно «Фенилон» – продукт поликонденсации изомерных фталевых кислот и поли-мета-фениленизофталамида. При 265 °С волокно дает усадку лишь 5 %. Рабочая теплостойкость 250 – 260 °С. Волокно имеет следующие показатели: прочность 35 – 48 гс/текс; удлинение 20 – 25 %; плотность волокна 1,32 – 1,34 г/см³. Остаточная прочность при 200 °С составляет 60 – 80 %, при 300 °С – 50 % [2].

Для поли-мета-фениленизофталамидных волокон («Фенилон», «Nomex®») температура стеклования равна 275 – 300 °С, температура плавления 420 – 480 °С, температура разложения 370 – 400 °С, для поли-пара-фенилен-изофталамидных волокон температура стеклования – 345 – 360 °С, температура плавления 550 – 560 °С, температура разложения 450 – 550 °С [3], т. е. эти температуры повышаются более чем на 100 °С, что является положительным фактором.

Также известны способы получения термостойких волокон других химических составов [4 – 6], но поскольку неизвестно о производстве химически однородных связующих для этих волокон, получение бумаги из таких волокон является проблематичным.

Для получения химически однородной бумаги со свойствами, присущими этому полимеру, используются волокнистые полимерные связующие (ВПС), которые называются фибридами. Фибриды – это смесь волоконца и мелких пленок полимера, диаметром от нескольких микрон до нескольких миллиметров, способных связываться между собой, а также связывать синтетические волокна при формировании бумажного полотна. Связующее изготавливается из полимера, химически идентичного или подобного основному волокну, но с температурой плавления на 50 – 60 °С меньше температуры плавления основного волокна и низкой степенью кристалличности. В композицию бумаги ВПС вводятся в количестве 20 – 70 % [7].

При каландрировании бумаги на специальных каландрах, имеющих обогреваемые стальные валы и бумажные валы, под воздействием температуры и давления термопластичные волокна и ВПС могут подплавляться и расплавляться в точках пересечения основных волокон, что обеспечивает наиболее прочную связь их между собой, и обеспечивает бумаге необходимые свойства [2, 7].

Пара-ориентированные пленочные фибриды изготавливают путем полимеризации пара-ориентированного ароматического диамина и пара-ориентированного ароматического галогенида ди-карбоновой кислоты в арамидный полимер, имеющий только пара-ориентированные связи, в смеси растворителя, состоящего

из N-метил-пирролидона или диметил-ацетамида и хлорида кальция или хлорида лития, для получения раствора, в котором полимер растворяется в смеси растворителей, а концентрация полимера составляет от 2 до 6 %. Далее происходит преобразование раствора в пара-арамидные пленочные фибриды с помощью обычных методов, известных для изготовления мета-арамидных фибридов [8].

По этому способу фирма «Teijin Aramid» в Нидерландах производит поли-пара-фенилен-терафталамидные фибриды, под торговой маркой «Twaron®». Фибриды имеют желтый цвет, плотность 1440 кг/м³, температура плавления – не плавится, температура стеклования – нет. Указывается, что температура свыше 500 °С вызывает разложение продукта и молекулярную дезориентацию. Назначение для использования: технические бумаги, изоляционные материалы, термо-изоляционные бумаги, сотовые конструкции в авиации, листовые прокладки трения. Пара-арамидные фибриды фирмы «Teijin Aramid» имеют степень помола 50 – 70 ° ШР, содержание влаги 80 – 95 % и длину 0,6 – 1,0 мм [9].

Известен способ производства пара-арамидных целлюлозно-подобных волокон для дальнейшего использования в производстве бумаги, в частности акцентируется внимание на использовании растворителей, которые способны втрое и больше уменьшить динамическую вязкость полимерного раствора, и также описана возможность непосредственного прядения целлюлозно-подобных волокон без прядения жгута [10].

По этому способу фирма «Teijin Aramid» в Нидерландах производит поли-пара-фенилен-терафталамидное пульпу под торговой маркой «Twaron®». Также известно о производстве резанных волокон «Twaron®» 1,7 dtex. Волокна имеют длину 6 мм, диаметр 12 мкм и влажность 4 – 8 % [9].

Известно производство мета-арамидной бумаги с использованием поли-мета-фенилен-терафталамидного волокнистого полимерного связующего для связывания волокон ароматических полиамидов. Такую бумагу выпускает в США фирма «DuPont». Эту бумагу выпускают пяти марок электроизоляционного назначения: каландрированную и некаландрированную, для изоляции электрических машин и аппаратов и для производства слоистых пластиков повышенной нагревостойкости под торговой маркой «Nomex®» [7].

На основе нагревостойкого ароматического полиамидного волокна «Фенилон» и ВПС на основе полимера «Фенилон» (поли-мета-фениленизофталамид) была разработана и выпускалась по ТУ 13-04-596-81 электроизоляционная арамидная бумага марки КМ-60. Эта бумага была предназначена для производства композиционных материалов класса нагревостойкости F для пазовой изоляции электрических машин. Согласно ТУ 13-04-596-81, бумага должна отвечать следующим требованиям: толщина 0,06 мм; плотность 970 ± 9 кг/м³; предел прочности при растяжении в продольном направлении 44 МПа, при относительном удлинении не менее 4,5 % [7].

Таким образом, термостойкие бумаги электроизоляционного назначения изготавливаются преимущественно из мета-арамидных волокон. Учитывая, что пара-арамидные волокна имеют ряд значительных

преимуществ, а именно, более высокую термостойкость и прочность по сравнению с мета-арамидными, исследование возможности изготовления термостойкой электроизоляционной бумаги из пара-арамидных волокон и поиск необходимого связующего является актуальным. Как показывает изучение литературных источников, лучшим связующим синтетического волокна для получения химически однородной бумаги являются фибриды. Также необходимым условием является химическое сродство связующего к синтетическому волокну [2].

Одним из производителей пара-арамидных волокон является фирма «Teijin Aramid», которая может производить не только пара-арамидные волокна «Twaron®», а также пара-арамидные фибриды «Twaron®» и пульпу «Twaron®», которые могут использоваться в качестве связующего.

3. Цель и задачи исследования

Целью статьи является исследование возможности использования пара-арамидных фибридов и пульпы «Twaron®», как связующих пара-арамидных волокон «Twaron®» при изготовлении термостойкой электроизоляционной бумаги.

4. Экспериментальные данные и обсуждение результатов

Исследована возможность использования пара-арамидных фибридов и пульпы «Twaron®» как связующих пара-арамидных волокон «Twaron®» при изготовлении термостойкой электроизоляционной бумаги. Установлено, что нарезанное волокно «Twaron®», фибриды и пульпа «Twaron®» способны хорошо диспергироваться. Методом микроскопического исследования получены фотографии волокон, которые представлены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, пара-арамидные волокна имеют гладкую поверхность, нефибриллированы и, следовательно, не имеют способности к связыванию между собой. В отличие от пара-арамидных волокон, пара-арамидные фибриды и пульпа имеют разветвленную структуру, отмечается наличие у фибридов пленочной структуры. Следовательно, есть большая вероятность, что пара-арамидные фибриды и пульпа «Twaron®» способны образовывать связи.

Для исследования изготавливали лабораторные образцы электроизоляционной бумаги с введением в композицию разного количества связующего (фибриды и пульпа «Twaron®») и волокон «Twaron®» длиной 6 мм. Часть изготовленных лабораторных образцов кондиционировали согласно ГОСТ 13523 и определяли следующие показатели: массу 1 м^2 бумаги (ДСТУ 2297), толщину (ДСТУ EN 20534:2005), плотность (ДСТУ EN 20534:2005), разрушающее усилие (ДСТУ 2334), электрическую прочность (ГОСТ 26130), капиллярную впитываемость (ГОСТ 12602), воздухопроницаемость (ГОСТ 13525.14), сопротивление раздиранию (ДСТУ 3368), а другую часть для повышения плотности каландрировали на высокотемпературном каландре, после чего подвергали аналогичным испы-

таниям. Результаты испытания некаландрированных образцов бумаги представлены в табл. 1, а каландрированных образцов с использованием в качестве связующего фибридов в табл. 2.

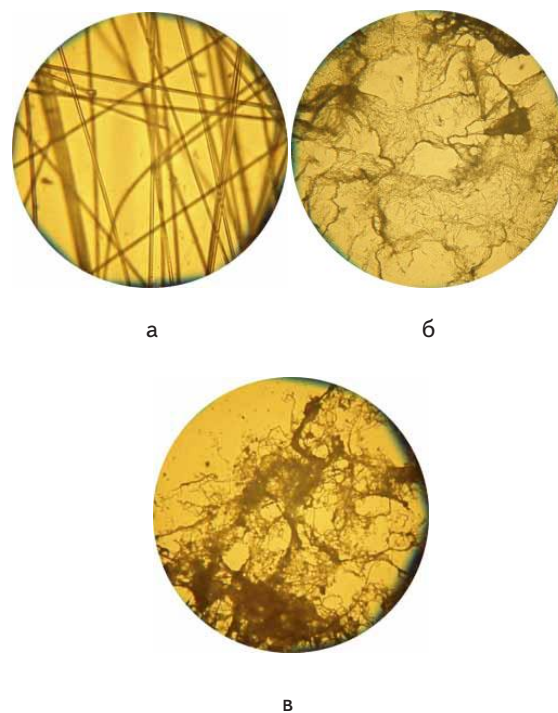


Рис. 1. Фотографии микроскопического исследования: а - пара-арамидных волокон «Twaron®», б - фибридов «Twaron®», в - пульпы «Twaron®»

Как видно из табл. 1, увеличение расхода фибридов с 30 до 100 % способствует уменьшению толщины бумаги (приблизительно в 3,5 раза) с одновременным увеличением ее плотности (в 2,5 раза) и электрической прочности (более чем в 3,3 раза), при этом наблюдается увеличение показателя разрушающего усилия с 32,5 Н до 80,2 Н (расход фибридов – 80 %). Это объясняется увеличением площади связи между синтетическим волокном и связующим, вследствие наличия у связующих разветвленной структуры, при этом наличие у фибридов пленочной структуры способствует лучшим результатам. Дальнейшее увеличение расхода фибридов не способствует увеличению разрушающего усилия, наоборот этот показатель уменьшается до уровня 67,1 Н как при расходе фибридов 60 %, что согласуется с утверждением Гутмана [2]. Относительное удлинение достигает максимальных значений для бумаги, изготовленной с расходом фибридов 50 – 60 %. Таким образом, исходя из табл. 1 приходим к выводу, что увеличение расхода фибридов более 80 % является нецелесообразным

Анализ данных, представленных в табл. 2, показывает, что каландрирование образцов бумаги одинаковой композиции приводит к уменьшению толщины бумаги в 3 – 4 раза и увеличению ее плотности приблизительно в 3 раза. Влияние расхода фибридов такое же, как и в предыдущем случае, т.е. увеличение расхода фибридов способствует незначительному уменьшению толщины бумаги (приблизительно в 1,2 раза) с одновременным увеличением ее плотности (в 1,1 раза),

при этом наблюдается увеличение показателя разрушающего усилия с 51,8 Н до 86,8 Н (расход фибридов – 60 %). Дальнейшее увеличение расхода фибридов не способствует увеличению разрушающего усилия, наоборот этот показатель уменьшается до уровня 67,7 Н как при расходе фибридов ориентировочно 25 %. Относительное удлинение достигает максимальных значений для бумаги, изготовленной с расходом фибридов 60 – 70 %. Таким образом, показано, что каландрирование положительно влияет на показатели качества

пара-арамидной термостойкой электроизоляционной бумаги, что свидетельствует о хорошей способности пара-арамидной бумаги к уплотнению. Исходя из данных табл. 1 и 2, оптимальным является расход фибридов 50 – 60 % для некаландрированной бумаги и 60 – 70 % – для каландрированной.

Аналогичные исследования были проведены с использованием в качестве связующего пульпы «*Twaron*®», результаты которых представлены в табл. 3.

Таблица 1

Влияние расхода фибридов «*Twaron*®» на показатели пара-арамидной электроизоляционной некаландрированной бумаги

Композиция бумаги, %		Наименование показателя					
Волокно 6 мм	Фибриды	Масса бумаги площадью 1 м ² , г	Толщина, мкм	Плотность, г/см ³	Разрушающее усилие, Н	Относительное удлинение, %	Электрическая прочность, кВ/мм
70	30	127	505	0,25	32,5	3,4	4,2
60	40	113	413	0,27	40,7	3,5	5,4
50	50	103	366	0,28	59,7	4,3	6,1
40	60	111	316	0,35	67,8	4,0	7,0
30	70	108	298	0,36	75,2	3,6	7,8
20	80	109	258	0,42	80,2	3,0	9,9
0	100	93	138	0,68	67,1	3,2	13,8

Таблица 2

Влияние расхода фибридов «*Twaron*®» на показатели пара-арамидной электроизоляционной каландрированной бумаги

Композиция бумаги, %		Наименование показателя						
Волокно 6 мм	Фибриды	Масса бумаги площадью 1 м ² , г	Толщина, мкм	Плотность, г/см ³	Разрушающее усилие, Н	Относительное удлинение, %	Капиллярная впитываемость, мм	Воздухопроницаемость, см ³ /мин
80	20	97,9	123	0,80	51,8	2,9	73	5250
70	30	98,3	119	0,83	68,2	2,9	42	67
60	40	97,4	109	0,89	75,3	3,3	28	22
50	50	94,2	106	0,89	83,5	3,7	24	8
40	60	98,3	100	0,98	86,8	3,4	17	4
30	70	92,7	98	0,95	86,2	3,9	14	4
0	100	109	95	1,15	67,7	2,8	0	9

Таблица 3

Влияние расхода пульпы «*Twaron*®» на показатели пара-арамидной электроизоляционной каландрированной бумаги

Композиция бумаги, %		Наименование показателя						
Волокно 6 мм	Пульпа	Масса бумаги площадью 1 м ² , г	Толщина, мкм	Плотность, г/см ³	Разрушающее усилие, Н	Относительное удлинение, %	Капиллярная впитываемость, мм	Воздухопроницаемость, см ³ /мин
60	40	91,8	115	0,80	56,5	3,4	38	4500
50	50	89,9	106	0,85	57,8	3,7	37	185
40	60	89,0	103	0,86	65,5	3,3	29	58
30	70	92,1	98	0,94	70,3	4,2	20	22

Как видно из табл. 3, увеличение расхода пульпы приводит к незначительному уменьшению толщины образцов пара-aramидной электроизоляционной каландрированной бумаги, некоторому увеличению ее плотности, разрушающего усилия и относительного удлинения. Однако эти показатели ниже, чем в случае использования фибридов.

На рис. 2 – 3 представлены зависимости электрической прочности и сопротивления раздиранию пара-aramидной электроизоляционной каландрированной бумаги от расхода связующего (фибридов или пульпы).

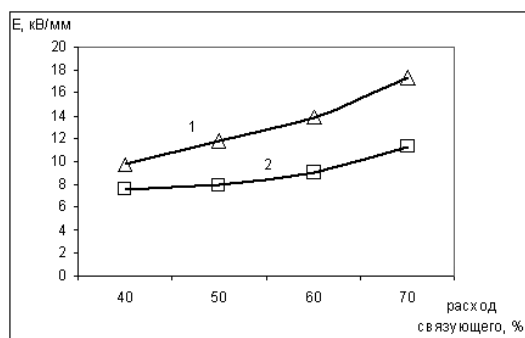


Рис. 2. Влияние расхода связующего на электрическую прочность бумаги (E): 1 – фибриды, 2 – пульпа

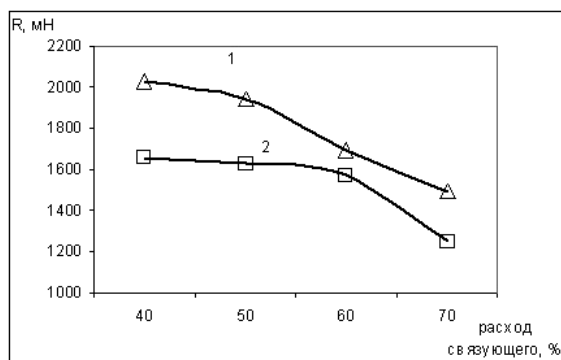


Рис. 3. Влияние расхода связующего на сопротивление раздиранию бумаги (R): 1 – фибриды, 2 – пульпа

Как видно из рис. 2 и 3, увеличение расхода связующего способствует росту электрической прочности и уменьшению сопротивления раздиранию, причем большую электрическую прочность и сопротивление раздиранию имеет бумага, изготовленная с использованием фибридов. Уменьшение сопротивления раздиранию образцов бумаги с увеличением расхода связующего (рис. 3) можно объяснить уменьшением

в композиции длинных и прочных синтетических волокон (длина синтетического волокна 6 мм, а связующего приблизительно 1 мм), а увеличение электрической прочности – более полным заполнением пор, поскольку связующее имеет разветвленную структуру, особенно пленочная структура у фибридов.

Таким образом показано, что с увеличением расхода пара-aramидных волокон снижается показатель плотности бумаги, поскольку синтетические волокна не имеют межволоконных связей. По этой же причине возрастают такие показатели как воздухопроницаемость и капиллярная впитываемость. Показатель капиллярной впитываемости увеличивается в два раза при увеличении расхода волокна с 30 до 60 % как при использовании фибридов, так и пульпы. При этом абсолютные значения показателя выше при использовании пульпы приблизительно на 40 %. Это обстоятельство предполагает перспективность использования пульпы для изготовления бумаги, предназначенной для изготовления композиционных материалов посредством пропитки – слоистых пластиков повышенной нагревостойкости.

5. Выводы

Предварительные исследования показали принципиальную возможность изготовления пара-aramидной электроизоляционной бумаги с использованием в качестве связующего пара-aramидных фибридов или пульпы. При этом использование фибридов в тех же количествах, что и пульпы, существенно улучшает основные показатели пара-aramидной бумаги.

Поскольку стоимость связующего значительно больше стоимости основного волокна, то, в зависимости от требований к конкретному виду бумаги, должна быть использована композиция с оптимальным количеством связующего.

Ранее нами обращалось внимание на необходимость максимального использования оборотной воды, чтобы максимально уменьшить потери волокна при производстве пара-aramидной бумаги [6], и что важно с точки зрения охраны окружающей среды.

Необходимо отметить, что технологические режимы бумагоделательной машины оказывают специфическое влияние на показатели качества бумаги, и, следовательно, окончательные выводы можно будет сделать только после выработки на бумагоделательной машине.

Таким образом, использование пара-aramидных фибридов и пульпы «Twaron®» в качестве связующего пара-aramидных волокон «Twaron®» является перспективным направлением, и имеет научный и практический интерес.

Литература

1. Роговин, З. А. Основы химии и технологии химических волокон [Текст] / З. А. Роговин Т 2 – М. : Химия, 1974. – 344 с.
2. Гутман, Б. Б. Бумага из синтетических волокон. [Текст] / Гутман Б. Б., Янченко Л. Н., Гуревич Л. И. // – М.: Лес. пром-сть, 1971. – 184 с.
3. Перепелкин, К. Е. Армирующие волокна и волокнистые композиты [Текст] / К. Е. Перепелкин // – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 380 с.

4. Патент RU 2180369 C2 Способ получения термостойкого волокна – 10.03.2002 / Мачалаба Н. Н.; Будницкий Г. А.; Волохина А. В.; Лукашева Н. В.; Кия-Оглу В. Н.; Полеева И. В.; Сокира А. Н.; Щетинин А. М.; Огнева Т. М.; Курьлева Н. Н.; Охлобыстина Л. В.; Андриюк И. А.; Матыцын П. А.; Белов В. П.; Перепелкин К. Е.
5. Патент RU 2476454 C1 Способ получения формованных изделий в виде волокон, нитей, выполненных из гетероциклических полиамидов – 03.10.2011 / Лакунин В. Ю., Склярлова Г. Б., Новикова Л. А., Комиссаров С. В., Шаблыгин М. В., Михайлова М. П.
6. Патент RU 2285760 C1 Способ получения термостойких нитей из сополиамидобензимидазола с пониженной степенью усадки – 13.07.2005 / Волохина А. В., Лукашева Н. В., Кия-Оглу В. Н., Сокира А. Н., Педченко Н. В., Будницкий Г. А.
7. Справочник по электротехническим материалам: в 3 Т. 1 [Текст] / под ред. Ю. В. Корицкого и др. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 368 с.
8. Патент WO2005059247 Para-aramid fibril film [Текст] / 30.06.2005 / Hendriks Anton Johannes Josef; Wilbers Dennis; Grotendorst Harrie; Journee René; Oldenzeel Mirjam Ellen
9. Демишок, Т. І. Використання пара-арамідних волокон та фібридів у виробництві електроізоляційного матеріалу з підвищеною термостійкістю [Текст] / Т. І. Демишок, Л. П. Антоненко // Вісник НТУУ «КПІ» «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження» Науковий збірник № 2 (10) – 2012. – С. 101 – 107
10. Патент WO/2004/099476 Non-fibrous polymer solution of para-aramid with high relative viscosity [Текст] / 18.11.2004 / Hendriks Anton Johannes Josef; Surquin Jan, M.; Oldenzeel Mirjam Ellen; Journee René; Van Bommel Vincent, A.

Побудована комп'ютерна модель міжволоконних пор в структурі плоскої нитки армуючої тканини з урахуванням випадкового відхилення положення контурів перетину волокон від регулярного положення в поперечному перетині нитки. Отримано гістограму розподілу міжволоконних пор за розмірами. Отримані результати є вихідними для розробки нових технічних рішень вдосконалення процесу просочення армуючої тканини в'язким складом

Ключові слова: розподіл пор за розмірами, міжволоконні пори, моделювання, структура нитки, просочення

Построена компьютерная модель межволоконных пор в структуре плоской нити армирующей ткани с учетом случайного отклонения положения контуров сечения волокон от регулярного положения в поперечном сечении нити. Получена гистограмма распределения межволоконных пор по размерам. Полученные результаты являются исходными для разработки новых технических решений совершенствования процесса пропитки армирующей ткани вязким составом

Ключевые слова: распределение пор по размерам, межволоконные поры, моделирование, структура нити, пропитка

УДК 677.027

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖВОЛОКОННЫХ ПОР ПО РАЗМЕРАМ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ НИТИ

В. В. Сьєс

Соискатель,
младший научный сотрудник
Кафедра химических технологий и
биохимического синтеза
Херсонский национальный
технический университет
Бериславское шоссе, 24,
г. Херсон, Украина, 73008
E-mail: vasilysys@mail.ru

1. Введение

Основу практически всех процессов химической технологии текстильных материалов, а также процессов изготовления композиционных материалов на текстильной основе составляет процесс пропитки текстильного материала обрабатываемым раствором.

Пропитка армирующей ткани составом из смолы и отвердителя с учетом высокой вязкости пропитываемого состава является одним из наиболее сложно реа-

лизуемых процессов пропитки. Поэтому для пропитки армирующей ткани при изготовлении деталей из композитов в авиастроении применяют специальную вакуумную технологию, что обеспечивает относительно высокую скорость и степень полноты пропитки.

Однако, несмотря на высокую степень отработанности технологии пропитки армирующей ткани вязким составом, в структуре пропитываемой ткани могут оставаться пузырьки воздуха [1]. Неоднородность в виде включения пузырьков воздуха в пропитываемой структуре ткани нарушает монолитность