

УДК 62-419.8:62-932.4

EDN WNPZVL (<https://elibrary.ru/wnpzvl>)

ДЕФОРМАЦИЯ И ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛОТЕН В РЕЗУЛЬТАТЕ НАБУХАНИЯ В СМЕСЯХ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ РАЗНОЙ ЛИПОФИЛЬНОСТИ

Ямилинец С.Ю., Дмитриев Л.Д., Кондратов А.П.

ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Предложена методика, и проведено исследование деформации при набухании в жидкости многослойного органоволокнита в свободном и линейно изомерном состоянии при помощи прямой видео фиксации изменения толщины слоев в поперечном сечении и гравиметрии образцов, контактирующих с жидкостью. Предложено использовать значения коэффициентов регрессии кривой кинетики деформации набухания различных слоев композита и предельного значения геометрических размеров композиционного материала в качестве параметров лиофильности. Установлен синергетический эффект деформации набухания разнородных амортизирующих органоволокнитов в смеси разнополярных растворителей в свободном и линейно изомерном состоянии. Показано, что наименьшей физико-химической стойкостью органоволокнитов, применяемых в полиграфии обладает адгезионный слой резины и ячеистый слой резины, который подвергается усиленному непропорциональному сжатию вплоть до монолитизации в линейно изомерном состоянии. Деформации многослойного органоволокнита в жидкости приводит к потере механических и эксплуатационных свойств в следствие выщипывания верхнего монолитного слоя эластомера при печати.

Ключевые слова: физико-химической стойкость; органоволокнит; офсетное резинотканевое полотно; деформация набухания в жидкости; синергия

DEFORMATION AND CHANGES IN THE STRENGTH PROPERTIES OF MULTILAYER FABRICS AS A RESULT OF SWELLING IN MIXTURES OF ORGANIC SOLVENTS OF DIFFERENT LIPOPHYLCITY

Yamilinets S.Yu., Dmitriev L.D., Kondratov A.P.

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

ABSTRACT

A technique is proposed, and a study of deformation during swelling in a liquid of multilayer organofilament in a free and linearly isomeric state is carried out using direct video recording of changes in the thickness of layers in cross-section and gravimetry of samples in contact with the liquid. It is proposed to use the values of the regression coefficients of the kinetic curve of the swelling deformation of various layers of the composite and the limiting value of the geometric dimensions of the composite material as lyophilicity parameters. A synergistic effect of swelling deformation of multiporous cushioning organofilament in a mixture of multipolar solvents in a free and linearly isomeric state has been established. It is shown that the adhesive layer of rubber and the cellular layer of rubber, which is subjected to increased

disproportionate compression up to monolithization in a linearly isomeric state, has the least physical and chemical resistance of organofilament used in printing. Deformation of multilayer organofilament in liquid leads to loss of mechanical and operational properties as a result of plucking of the upper monolithic layer of elastomer during printing.

Keywords: physico-chemical resistance; organofilament; offset rubber fabric; swelling deformation in liquid; synergy

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных применений эластичных армированных композиционных материалов является использование их в качестве амортизирующих элементов различных машин и механизмов [1].

При эксплуатации армированные материалы подвергаются динамическим и статическим нагрузкам, под действием которых они демонстрируют неупругое поведение. Неупругое поведение продольно армированных композиционных материалов в ряде работ исследовалось экспериментально и теоретически [1-3].

В частности, напряженно-деформированное состояние многослойных волокнистых материалов рассматривалось в условиях защемления внешних кромок и при наличии жесткой опоры под одной из поверхностей [4,5], что соответствует типичным условиям эксплуатации амортизирующих элементов.

Сопутствующие циклическим деформациям прогрессирующее микро- и макроразрушение структуры многослойных и наполненных эластичных материалов исследуется визуально и методами анализа изображений, полученных с помощью оптических и электронного микроскопа [6,7].

В ряде конкретных случаев разрушение многослойных волокнистых материалов многократно ускоряется под воздействием агрессивной среды [8]. При этом характер деформирования и разрушения дисперсно-наполненных композитов и материалов с наполнителем в виде ткани [9] существенно различается.

Многослойные полимерные композиционные материалы, армированные тканями с различным плетением нитей и пропиткой слоев, широко используются в машиностроении при изготовлении уплотнительных и амортизирующих изделий, контактирующих с различными жидкостями. При ремонтно-профилактических работах и эксплуатации машин или трубопроводов изделия из слоистых композитов взаимодействуют с жидкой средой внешними поверхностями или торцевыми срезами, которые находятся в свободном или конструкционно обусловленном сжатом, фиксированном, так называемом, линейно изомерном состоянии. Лиофильность и набухание композиционных материалов в свободном и изомерном состоянии может существенно различаться, зависит от химического состава жидкой среды, полимеров и структуры слоев. Под набуханием понимается изменение толщины слоев в результате всех возможных механизмов массопередачи [10,11]. Так как в условиях эксплуатации уплотнительных или амортизирующих изделий из таких материалов изменение общей толщины невозможно, имеет место перераспределение доли толщины слоев, изменение структуры и свойств композиции. Таким примером может служить офсетное резиноканевое полотно (ОРТП). Оно состоит из тканых и резиновых слоёв. Каждый слой имеет свое назначение и структуру, показанную на рис.1 [12,13].

Для оценки лиофильности мультиструктурных разнопористых амортизирующих органоволокнитов используют гравиметрический, объемный и оптический метод.

Усовершенствованный нами оптический метод отличается от использованного ранее тем, что средства видео фиксации напрямую записывают торец ОРТП и графическими методами обработки изображения позволяет производить прецизионные измерения [10].

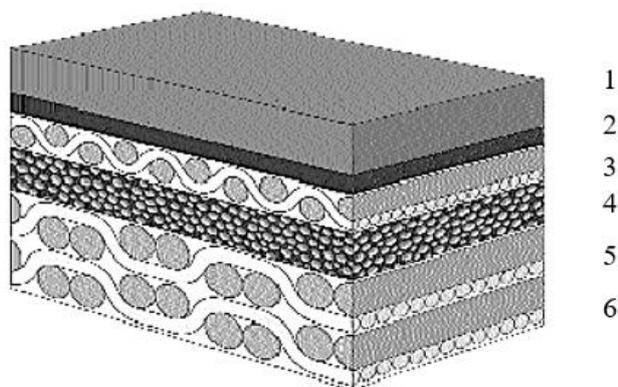


Рис.1. Примерный состав и структура амортизирующих органоволокнитов для полиграфических машин: 1 – монолитный слой эластомера; 2 – адгезионный слой резины; 3 – ткань из х/б волокон; 4 – ячеистый слой резины; 5,6 – импрегнированные слои х/б ткани.

Необходимость количественного исследования стереометрии и изменения микроструктуры амортизирующих органоволокнитов под действием жидкости в линейном изометрическом состоянии обусловлена особенностями их применения в качестве важнейших деталей печатных машин. Покрытие офсетного цилиндра, выполненное из мультиструктурного разнопористого органоволокнита, испытывает сжимающие нагрузки и периодически контактирует с жидкостями различной полярности [14-17].

Для постановки задач эксплуатационных исследований следует выделить два режима контактирования жидкостей с ОРТП при работе печатной машины. Первый – во время переноса краски с форм на запечатываемый субстрат. Второй – во время очистки.

Офсетная машина производит 10 000-20 000 оттисков в час. Один оттиск соответствует одному повороту офсетного цилиндра, где ОРТП сжимается в контактных зонах на фиксированную величину и восстанавливает свой размер. Это означает, что композитное полотно сжимается 5,5-11 раз в секунду, но высокая скорость вращения цилиндра не позволяет полотну полностью восстановиться после сжатия, и оно находится в условно постоянном сжатом состоянии. Во всех конструкциях офсетных печатных машин давление в печатной паре, определяющее величину сжатия полотна, выставляется с учетом превышения толщины полотна органоволокнита над контактными кольцами на 0,10-0,15 мм. При этом жидкости проникают в ОРТП через верхние слои композита [18].

Во время очистки полотно находится в свободном состоянии и не испытывает механических нагрузок, однако смывочные форсунки, щетки или полотна подводят очищающие растворы ко всему полотну, включая торцы. Относительно защищенным является только нижние слои композита, так как они плотно прилегают к офсетному цилиндру. Лицевая сторона имеет хорошую химическую стойкость, а торцы, где есть незащищенный выход тканевых слоев, испытывают максимальное негативное воздействие. Так как основное проникновение жидкости в композит происходит через торцы, что отчетливо видно при визуальном осмотре

ОРТП после снятия цилиндра печатной машины, то при эксплуатации реализуется так называемый «капсульный» эффект набухания – периферийные участки полотна меняют свои линейные размеры, а участки внутри полотна нет. Вследствие этого эффекта в материале возникает внутреннее напряжение, которое проявляется короблением органоволокнита и заслуживает специального изучения.

Упругость, стереометрия и лиофильность покрытия печатного цилиндра имеют основополагающее значение для обеспечения качества печати и производительности полиграфического оборудования. Качественная печать возможна лишь при условии создания определенного давления печатного цилиндра на запечатываемые материалы, то есть при условии дозированного сжатия органоволокнита до постоянной величины. Отклонение толщины органоволокнита от номинального значения по любой причине, в том числе, вследствие негативного влияния жидких компонентов красок или технологических растворов приводит к удлинению или укорачиванию печатного изображения, что является браком, так как репродуцированное изображение не соответствует исходному макету [19-22].

Исходя из указанных выше условий эксплуатации ОРТП в полиграфии, в настоящем исследовании стереометрии и лиофильности разнородных амортизирующих органоволокнитов целесообразно изучить воздействие жидкостей на полотно толщиной 1,96 мм при величине абсолютной деформации сжатия 1,8 мм.

Долговечность разнородных амортизирующих органоволокнитов, используемых в полиграфии, подтверждается всесторонними испытаниями, однако многолетние исследования показали, что изменение свойств материалов под воздействием высокочастотной нагрузки в агрессивной среде, в том числе оказывает на эксплуатационные характеристики более существенное влияние, нежели механический износ. Для поддержания высокого уровня эксплуатационных характеристик разнородных амортизирующих органоволокнитов, используемых в полиграфии, необходимо понимать механизмы процесса их износа.

В ранее выполненных исследованиях лиофильность амортизирующих резиновых и мультиструктурных волокнистых композитов оценивалась по относительному увеличению массы образцов, погруженных в органические жидкости различной полярности при определенной температуре [10,23,24]. При графическом отображении результатов периодического взвешивания увеличение массы образцов через заданные промежутки времени образует кривую, характеризующую кинетику набухания.

С высокой достоверностью было доказано, что кинетическая кривая набухания, полученная оптическим методом измерения линейных размеров, мультиструктурных волокнистых композитов, содержащих слои сшитых эластомеров, может быть описана уравнением гиперболы (1) и может характеризоваться двумя коэффициентами регрессии «*a*» и «*b*» [24-31]

$$H_t = \frac{t}{b + a \cdot t}. \quad (1)$$

Смысл коэффициентов регрессии очевиден. Если асимптота «гиперболы набухания» ($1/a$) соответствует предельной, то есть равновесной степени набухания (H_∞), то первый коэффициент регрессии (*a*) – это доля твердой фазы полимера в насыщенной двухфазной системе «твердое-жидкость» (2), [24-26]

$$a = \frac{1}{H_\infty}. \quad (2)$$

В нашем случае результаты измерения толщины и перемещения границы раздела фаз (слоев) не имеют размерности, так как определяются по увеличенным фотографиям и относятся к размеру образца (нормируются) [24-26].

Подставив в уравнение (1) значения параметров, соответствующие времени половинного насыщения и, выполнив преобразование, получим выражение для другого коэффициента регрессии. Второй коэффициент регрессии имеет размерность времени (3), (4) и объективно отражает скорость проникновения жидкости в материал. Чем больше « b », тем меньше скорость сорбции [24-26]

$$\frac{H_{\infty}}{2} = \frac{t_{H_{\infty}/2}}{b + \frac{t_{H_{\infty}/2}}{H_{\infty}}}, \quad (3)$$

$$b = \frac{t_{H_{\infty}/2}}{H_{\infty}}, \quad (4)$$

где H_t – степень набухания, измеренная по изменению толщины слоя или образца, то есть частное от деления изменения толщины набухающего слоя или образца к исходной толщине; $t_{H_{\infty}/2}$ – времени половинного насыщения; H_{∞} – предельная степень набухания [24-26].

Для удобства построения и определения коэффициентов регрессии гиперболы (1) необходимо её аппроксимировать в прямую (5) [24-26]

$$\frac{t}{H_t} = b + a \cdot t, \quad (5)$$

где $\frac{t}{H_t}$ является значением аппроксимации и может быть выражено, как котангенс угла наклонной проведенной к значению на гиперболе кинетики набухания в момент t [24-26].

Исходя из гиперболической зависимости H_t от t , понятно, что в случае отрицательных значений коэффициента « b » мы имеем кривую сжатия слоев, где время задержки выражается соотношением коэффициентов (6) [24-26]

$$t_{\text{начальная}} = -\frac{b}{a}. \quad (6)$$

При отрицательном коэффициенте « a » мы имеем уменьшение линейных размеров вплоть до монолитизации слоя мультиструктурного разнородного амортизирующего органоволокнита [24-26].

В дальнейшем будет дополнительно использовано обозначение предельного набухания, определяемого оптическим (H_{∞}^{δ}) и весовым (H_{∞}^g) методом, а набухание отдельных слоев – H_i [24-26].

Предельное набухание H_{∞}^{δ} , определяемое оптическим методом, связано с предельным набуханием, определяемым гравиметрическим методом H_{∞}^g по формуле (7) [24-26]

$$H_{\infty}^g = \left[\left(H_{\infty}^{\delta} + 1 \right)^3 - 1 \right] \cdot \frac{\rho_{\text{растворителя}}}{\rho_{\text{полотна}}}, \quad (7)$$

где $\rho_{\text{полотна}}$ – плотность образца, а $\rho_{\text{растворителя}}$ – плотность растворителя.

1. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве модельных жидкостей для оценки лиофильности использовали летучие низковязкие органические соединения: н-гексан и ацетон – жидкости аналогичные по полярности и строению растворителям, входящим в состав «печатной химии», то есть красок, лаков, увлажняющих растворов и средств, применяемых для очистки поверхности печатных валов, оптимизации вязкости красок, различных промывных растворов [32].

В качестве листового мультиструктурного разнородного органоволокнистого промышленного производства, широко применяемого в полиграфии и машиностроении для амортизации циклических нагрузок, исследовали резиноканевое полотно производства DAY INTERNATIONAL (Германия). Лабораторный стенд для оценки лиофильности и измерения геометрических параметров разнородных слоев резиноканевого полотна, состоящий из микроскопа Descor5mp, цифрового фотоаппарата, зажима для конструктивного сжатия амортизатора и фиксации габаритного размера образца и емкости с жидкостями (чашки Петри), показан на рис.2 и 3.



Рис.2. Стенд для макросъемки образцов, где 1 – оптическая система цифрового фотоаппарата; 2 – образец полотна; 3 – модельная жидкость; 4 – чашка Петри.

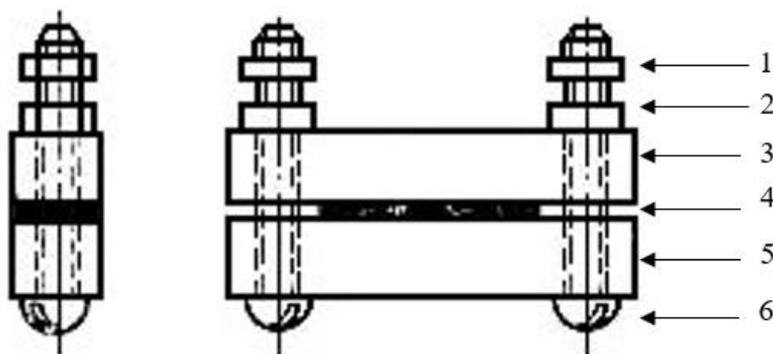


Рис.3. Зажим для конструктивного сжатия амортизатора и фиксации габаритного размера образца. 1 – гайка; 2 – калиброванный упор; 3,5 – зажимные планки; 4 – образец; 6 – болт.

Методика оценки геометрических параметров разнородных слоев резиноканевого полотна под действием жидкостей предложена в [24-26] и заключается в непрерывной макрофото съемке сечения полотна с выбором относящихся к границе раздела фаз так называемых «реперных» точек на фотографиях пористых слоев, перемещение которых объективно отражает изменение толщины слоев, рис.4 и сорбцию жидкости.

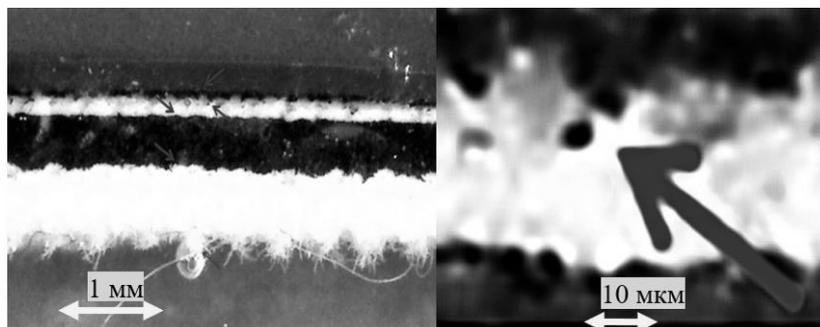


Рис.4. Макрофотография торца ОРТП с указанием «реперных» точек, выбранных для измерения соотношения толщины слоев органоволокнита.

Расположение на слоях полотна и перемещение под действием жидкости выбранных в процессе макрофото съемки «реперных» точек оценивались после многократного увеличения в графическом редакторе Adobe Photoshop. Так как смещение «реперных» точек измерялось по фотографиям, на экране получаемые значения толщины слоев и их изменения под действием проникающих жидкостей безразмерны.

Для определения качества мультиструктурных разнородных амортизирующих органоволокнитов до и после воздействия растворителей мы использовали методики стандарта ASTM D751-19 – «стандартные методы испытаний тканей с покрытием» [33].

2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Механические свойства и долговечность мультиструктурных разнородных органоволокнитов в условиях эксплуатации амортизирующих изделий зависят от химической природы контактирующей среды, величины, скважности и продолжительности действия сжимающего напряжения. Для оценки стабильности структуры и свойств резиноканевого полотна в химически инертной жидкой среде под постоянным действием сжимающего напряжения и в свободном состоянии используем константы уравнения регрессии и предельную степень набухания отдельных слоев.

Выборный для исследования образец мультиструктурного разнородного органоволокнита используется в полиграфической промышленности для классического офсетного способа печати масляными красками, содержащими неполярные ингредиенты и должен иметь максимальную химическую стойкость к жидким алифатическим углеводородам, в том числе к н-гексану.

Разбухание, то есть увеличение толщины полотна при воздействии жидких алифатических углеводородов приводит к снижению качества печатной продукции. Оптическим методом установлено, что изменения толщины исследуемого резиноканевого полотна после экспозиции образца в н-гексане в течение 3 часов практически не происходит. При этом имеет место проникание

смачивающей жидкости микро капиллярными потоками в пористую структуру органоволокнита, которое фиксируется по увеличению массы образцов на 5,9%.

Качественно иной эффект имеет влияние полярной жидкой среды на габаритные размеры мультиструктурного полотна и его составляющие из различных полимерных материалов. Изменения толщины исследуемого резинотканевого полотна после экспозиции образца в ацетоне в течение 3 часов весьма значительны и достигают 30% (см. Таблицу 1), что закономерно приводит к недопустимому увеличению давления в печатной паре офсетных полиграфических машин и нарушению условий качественной печати.

Таблица 1.

Изменение толщины слоев полотна после экспозиции в свободном состоянии.

Константы регрессии	№ слоя (рис.1)	С% ацетон / С% н-гексан	a	b	$H_{i\infty}, \%$
монолитный слой эластомера	1	0 / 100	0	0	0
		25 / 75	0	0	0
		50 / 50	4.00	0.24	25±1
		75 / 25	3.33	0.61	30±1
		100 / 0	3.22	2.13	30±1
адгезионный слой резины	2	0 / 100	0	0	0
		25 / 75	6	0	17±1
		50 / 50	6	0	17±1
		75 / 25	4	0	25±1
		100 / 0	2	0	50±1
ткань из х/б волокон	3	0 / 100	0	0	0
		25 / 75	0	0	0
		50 / 50	0	0	0
		75 / 25	0	0	0
		100 / 0	0	0	0
ячеистый слой резины	4	0 / 100	0	0	0
		25 / 75	6.66	0.2	15±1
		50 / 50	5.89	-19.90	17±1
		75 / 25	3.75	6.18	27±1
		100 / 0	1.98	1.84	50±1
импрегнированные слои х/б ткани	5 и 6	0 / 100	0	0	0
		25 / 75	6.15	13.32	15±1
		50 / 50	6.55	55.34	15±1
		75 / 25	6.54	55.34	15±1
		100 / 0	3.61	1.46	27±1
толщина полотна		0 / 100	0	0	0
		25 / 75	8.82	6.91	11±1
		50 / 50	6.38	73.74	16±1
		75 / 25	5.05	2.33	20±1
		100 / 0	3.22	2.13	30±1

Асимптота «гиперболы набухания» ($1/a$) соответствует предельной, то есть равновесной степени набухания (H_{∞}). Первый коэффициент регрессии (a) – это

доля твердой фазы полимера в насыщенной двухфазной системе «твердое-жидкость». Коэффициент регрессии (b) имеет размерность времени (3), (4) и объективно отражает скорость проникновения жидкости в материал. Чем больше « b », тем меньше скорость сорбции.

Монолитный слой эластомера при условии свободного доступа жидкости ко всем граням призматического образца изменяет размеры и сорбирует ацетон по объему (a и H) со скоростью (b) пропорциональной (или идентичной) всему образцу мультиструктурного разнородного амортизирующего органолокнита.

Ячеистый слой резины и адгезионный слой резины, расположенные под монолитным слоем эластомера, заполняются жидкостью (a и H) быстрее остальных (b), что препятствует увеличению толщины импрегнированных слоев x/b ткани и ткани из x/b волокон.

Увеличение массы полотна в ацетоне, определяемое по стандартной гравиметрической методике, составляет 40%.

Расчетная величина предельного набухания, определяемая гравиметрическим способом из оптического, составляет (8), (9)

$$H_{\infty}^g = \left[(0,3+1)^3 - 1 \right] \cdot \frac{0,784}{5,402}, \quad (8)$$

$$H_{\infty}^g = 0,17. \quad (9)$$

Расчетная величина степени набухания полотна по весовому способу, соответствующая результатам оптических измерений существенно меньше экспериментально определенного значения (40%), и это расхождение обусловлено качественным различием механизмов сорбции жидкости в пористых и монолитных полимерных материалах.

В работе [31] на примере полимерных флексографских пластин описан синергический эффект увеличения сорбции монолитными эластомерами в смеси полярных и неполярных растворителей в сравнении с индивидуальными веществами.

Авторами работы был проведен эксперимент по оценке лиофильности резиноканевого полотна в свободном состоянии к смеси ацетона с n -гексаном и получен интересный эффект. Значения предельной степени набухания приведены на рис.5.

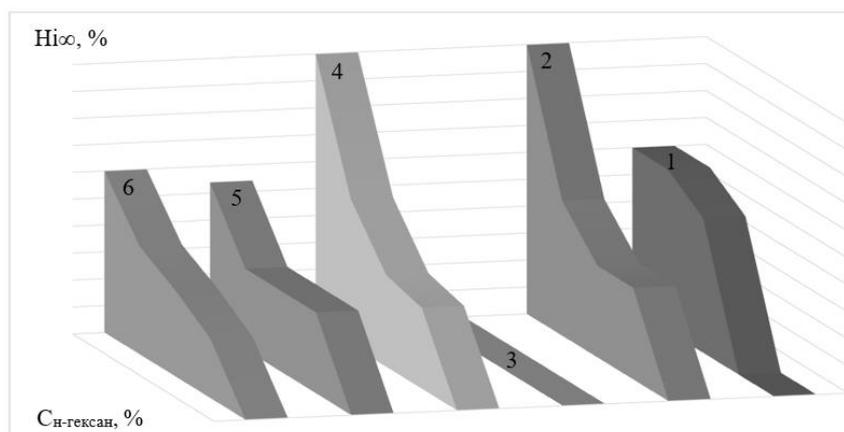


Рис.5. Предельная степень набухания слоев в смеси ацетона с n -гексаном в свободном состоянии: 1 – монолитный слой эластомера; 2 – адгезионный слой резины; 3 – ткань из x/b волокон; 4 – ячеистый слой резины; 5,6 – импрегнированные слои x/b ткани.

Монолитный слой эластомера при условии свободного доступа жидкости ко всем граням призматического образца изменяет размеры и сорбирует ацетон по объему (a и H) вдвое больше и быстрее всего образца мультиструктурного разнопористого амортизирующего органолокнита. Ячеистый слой резины, сорбирует смесь ацетона с н-гексаном по объему втрое больше (a и H) всего образца органолокнита, пропорционально «уплотняя» слой ткани из х/б волокон.

Увеличение общей толщины монотонно снижается при добавлении н-гексана к ацетону, что подтверждено ранее проведенными оценками набухания, выполненными гравиметрическим способом 18% [23].

Значительно большее взаимное влияние слоев полотна различной структуры на изменение их толщины при условии фиксации габаритного размера образца в модельных жидкостях. В линейно изомерном состоянии общая толщина полотна измениться не может (см. Таблицу 2).

Таблица 2.

Изменение толщины слоев полотна после экспозиции в линейно изомерном состоянии.

Константы регрессии	№ слоя (рис.1)	С% ацетон / С% н-гексан	a	b	H_{∞} , %
монолитный слой эластомера	1	0 / 100	0	0	0
		25 / 75	4.97	3.79	20±1
		50 / 50	5.5	0	18±1
		75 / 25	1.05	10.59	96±1
		100 / 0	3.61	7.05	28±1
адгезионный слой резины	2	0 / 100	0	0	0
		25 / 75	1.31	9.18	-34±1
		50 / 50	-1	0	-100
		75 / 25	-1	113.07	-100
		100 / 0	-1	-0.42	-100
ткань из х/б волокон	3	0 / 100	0	0	0
		25 / 75	-2.95	-16.56	-34±1
		50 / 50	-1.55	0.15	-64±1
		75 / 25	-1.33	0	-75±1
		100 / 0	-2.99	-1.62	-33±1
ячеистый слой резины	4	0 / 100	0	0	0
		25 / 75	0	0	0
		50 / 50	2.35	6.6	43±1
		75 / 25	2.7	21.1	34±1
		100 / 0	2.78	2.27	36±1
импрегнированные слой х/б ткани	5 и 6	0 / 100	0	0	0
		25 / 75	-36.06	6.55	-3±1
		50 / 50	-21.38	46.86	-5±1
		75 / 25	-6.4	0	-16±1
		100 / 0	-6.4	-12.06	-16±1

Ячеистый слой резины и монолитный слой эластомера при условии свободного доступа жидкости к торцевому срезу призматического образца максимально изменяют свои поперечные размеры и сорбируют ацетон по объему (a и H) с большей скоростью, что приводит к существенному сжатию адгезионного

слоя резины и слоев х/б тканей. Так как общая толщина измениться не может, и слои находятся в напряжении, обусловленном сжатием полотна на 0,15 мм до контакта с жидкостью видно, что адгезионный слой резины в состоянии предельного набухания полностью задавлен ($H_{i\infty} = -100\%$).

Набухание в н-гексане в линейно изомерном состоянии, также как и в свободном состоянии, качественно отличается от набухания в ацетоне. Полотно находится в линейно изомерном состоянии, не изменяет соотношения толщины слоев.

Для смеси растворителей н-гексана и ацетона в линейно изомерном состоянии получили значения, из которых видно несколько стадий перераспределения слоев до и после 60 минут. На графике кинетики набухания показаны эти отрезки для монолитного слоя эластомера, рис.6.

На диаграмме мы видим прямые с разными углами наклона и точками пересечения с осями, по углам наклона понятно, что на участке от 0 до 60 минут предельная степень сорбции в линейно изомерном состоянии значительно ниже, чем в свободном состоянии, а скорость насыщения выше, но на отрезке от 60 до 180 минут предельное насыщение слоев и скорость становятся сравнимы для линейно изомерного и свободного состояния.

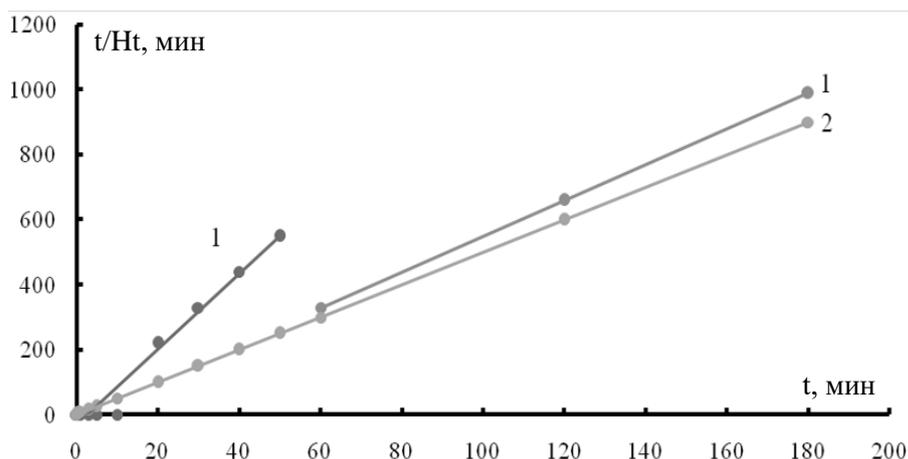


Рис.6. Кинетика набухания в смеси растворителей для 1 – монолитный слой эластомера в линейно изомерном состоянии; 2 – монолитный слой эластомера в свободном состоянии.

Таким образом, можно выделить предельное набухание для участка от 0 до 60 минут (начальное) и предельное набухание для участка от 60 до 180 минут (конечное). Свойства мультиструктурных разнопористых амортизирующих органоволокнитов до 60 минут значительно отличается по свойствам при сжатии после этого времени. Для анализа предельной степени набухания были взяты конечные линейные отрезки для каждого слоя (результаты представлены в Таблице 2).

Видно, что монолитный слой эластомера и ячеистый слой резины в предельном состоянии набухают, а адгезионный слой резины и тканые слои «ужимаются», при этом адгезионный слой резины полностью задавлен в своем предельном состоянии ($H_{i\infty} = -100\%$). Положительный коэффициент регрессии « b » при отрицательном коэффициенте регрессии « a » означает задержку при сжатии слоев х/б ткани. Эта задержка и показывает нам перераспределение набухания слоев на 60-ти минутах.

Для определения эффекта синергии разнополярных растворителей данные Таблиц 1 и 2 были собраны в диаграмме рис.7.

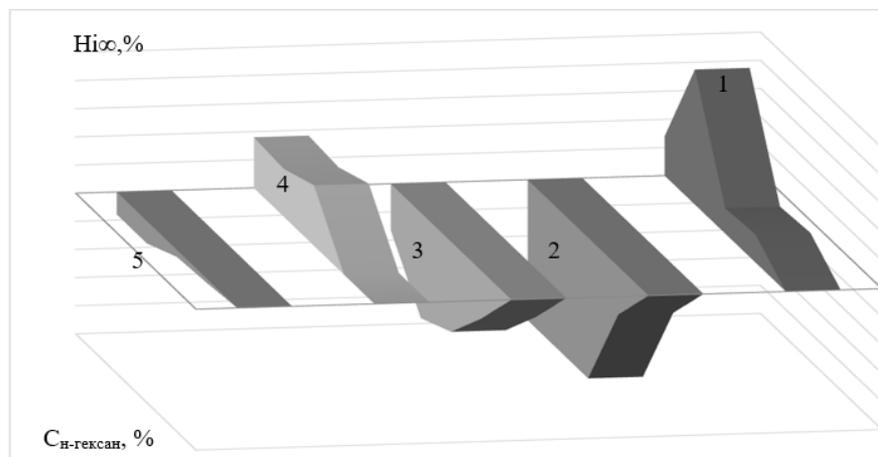


Рис.7. Предельная степень набухания в ацетоне с н-гексаном в линейно изомерном состоянии: 1 – монолитный слой эластомера; 2 – адгезионный слой резины; 3 – ткань из х/б волокон; 4 – ячеистый слой резины; 5,6 – импрегнированные слои х/б ткани.

Набухание некоторых слоев в смеси растворителей ацетон и н-гексан не линейно зависят от концентрации полярного растворителя. Ацетон в составе раствора полностью «сжимает» адгезионный слой и существенно уплотняет ткань из х/б волокон. При этом ячеистый слой резины и монолитный слой эластомера набухают в растворе больше, чем в чистом ацетоне. Это различие геометрических эффектов в динамике набухания слоев в растворе и индивидуальных веществах, может быть обусловлено особенностями смачивания слоев. Н-гексан проявляет больший капиллярный эффект проникновения в пористую структуру волокнистых слоев и в составе раствора быстрее доставляет в неё ацетон, который значительно ускоряет набухание полимеров и деформирование смежных слоев на торцевой поверхности (рис.8).

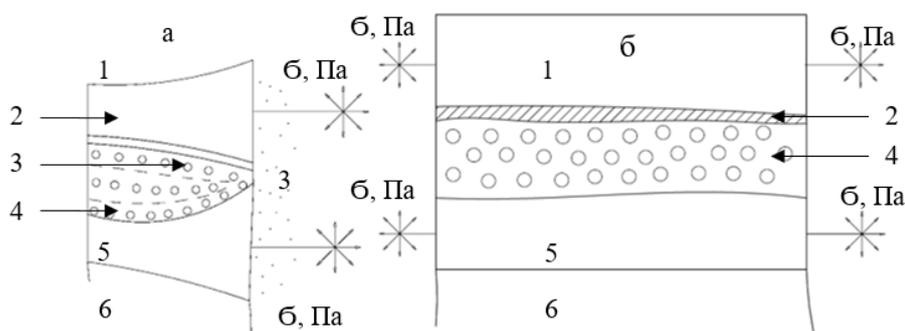


Рис.8. Схема набухания торцевого среза композиционного полотна в смеси разнополярных растворителей при быстром набухании в растворе (а), медленном набухании в растворе (б), где 1 – монолитный слой эластомера; 2 – адгезионный слой резины; 3 – растворитель; 4 – ткань из х/б волокон с раствором; 5 – ячеистый слой резины; 6 – импрегнированные слои х/б ткани.

Стандартными методами испытаний тканей с покрытием была определена стойкость к расслоению мультиструктурных разнородных амортизирующих органоволокнитов. Результаты представлены в Таблице 3.

Таблица 3.
Стойкость для чистых и экспонированных в растворителях образцов по ASTM D751-19.

Параметр/среда	Воздух	Ацетон	Смесь	Н-гексан
Усилие на разрыв ячеистого слоя резины, Н/м	5,03	0,89	1,05	3,36
Адгезия адгезионного слоя резины к ткани, Н/м	2,94	0,44	0,55	2,85
Усилие на разрыв вдоль основы, КПа	41,1	39,0	31,6	33,5
Модуль Юнга, МПа	120	70	74	68

Результаты испытаний механических свойств полотна по стандартной методике [33] показывают, что действие растворителей уменьшает адгезию между слоями. Когезионная прочность ячеистого слоя снижается в 5-6 раз, что значительно уменьшает срок службы полотна. Предел прочности полотна на разрыв в целом практически не меняется, так как прочность полотна обусловлена механическими характеристиками армирующей ткани, но воздействие растворителей снижает их жесткость, измеряемую по величине модуля Юнга.

ВЫВОДЫ

Методом прямой видео фиксации изменения толщины слоев и гравиметрии образцов мультиструктурного разнородного органоволокнита в контакте с жидкостями различной полярности установлен вклад сорбции жидкости отдельных слоев в изменение толщины полотна при сорбции в свободном состоянии и линейном изомерном состоянии, реализуемом при эксплуатации амортизирующих деталей полиграфической техники.

Предложены количественные характеристики сорбции жидкости отдельными слоями мультиструктурного разнородного органоволокнита для описания механизма и кинетики сорбции жидкостей в различных условиях контакта.

На примере ОРТП показано, что набухание полимерных слоев полотна в жидкости, негативно влияющее на его прочностные и эксплуатационные свойства, нивелируется сжатием слоев тканей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янковский А.П. *Построение уточненной модели упругопластического поведения гибких армированных пластин при динамическом нагружении* // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2017. – Т.23. – №2. – С.283-304.
2. Roohollah Mousavi S., Reza Esfahani M. *Effective moment of inertia prediction of FRPreinforced concrete beams based on experimental results* // J. of Composites for Construction. – 2012. – Vol.16. – No.5. – Pp.490-498.

3. Hong S. *Effects of the Amount and Shape of Carbon Fiber-Reinforced Polymer Strengthening Elements on the Ductile Behavior of Reinforced Concrete Beams* // *Mechanics of Composite Materials*. – 2014. – Vol.50. – No.4. – Pp.427-436.
4. Джагангиров А.А. *Несущая способность кольцевой трехслойной волокнистой композитной пластинки, свободно опертой по внутренней и защемленной по внешней кромкам* // *Механика композиционных материалов и конструкций*. – 2015. – Т.21. – №1. – С.35-46.
5. Мовсумов Э.А., Шамиев Ф.Г. *Несущая способность пластинок из волокнистого композита* // *Механика композитных материалов*. – 2015. – Т.41. – №2. – С.177-192.
6. Морозов И.А. *Новые методы анализа изображений для исследования микроструктуры резин, наполненных техническим углеродом* // *Механика композиционных материалов и конструкций*. – 2013. – Т.19. – №1. – С.74-86.
7. Morozov I.A., Lauke B., Heinrich G. *A novel method of quantitative characterization of filed rubber structures by AFM* // *Kautschuk und Gummi Kunststoffe*. – 2011. – Vol.64. – No.2. – Pp.24-27.
8. Афанасьева Е.А., Горяшник Ю.С., Долгова Е.В., Кривушина А.А. *Изменение свойств эпоксидных полимеров после воздействия плесневых грибов в зависимости от структуры исходной эпоксидной смолы* // *Механика композиционных материалов и конструкций*. – 2021. – Т.26. – №4. – С.528-543.
9. Юдин В.А., Ивлев В.И., Фомин Н.Е., Сигачев А.Ф. *Механические свойства слоистого композитного материала на основе эпоксидной смолы с наполнением из углеткани* // *Механика композиционных материалов и конструкций*. – 2016. – Т.22. – №2. – С.192-200.
10. Ямилинец С.Ю., Черкасов Е.П., Журавлева Г.Н. *Оценка циклических деформаций полимерных печатных форм и офсетного резинотканевого полотна* / Межд. научн.-практ. конф. «Полиграфия: состояние и перспективы ее развития». Материалы конференции. – Душанбе: Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, 2020. – С.488.
11. Yamilinets S.Yu., Zhuravleva G.N., Kondratov A.P. *Chemical resistance of a surface of an offset cylinder of printing equipment* / IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations, 2020. – 62107.
12. Джозеф Л.Б., Ториран В.Ф., Ричард С.К. *Печатное офсетное полотно (варианты), сжимаемая ткань, композитное изделие, способ изготовления сжимаемой ткани, способ изготовления печатного офсетного полотна, способ получения композитного материала*. Патент на изобретение RU 2110410C1, 10.05.1998. Заявка №94027280/12 от 13.11.1992.
13. Минниханова С.М., Тимашева Ф.Г., Хайруллин С.Г., Идиатуллин И.З., Горбачева Н.М., Сапункова Л.М., Серегина В.М. *Конструкция полотна для офсетной печати*. Патент на полезную модель RU 19498 U1, 10.09.2001. Заявка №2000100510/20 от 10.01.2000.
14. Турдалы К.М., Бейсенбаев О.К., Артыкова Ж.К. *Характеристики набухания полиакрилата натрия и поли (акриламид-со-акриловая кислота) калиевой соли* / XLVI Межд. научн.-практич. конф. «Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации». Сборник статей в 2 частях. – Пенза, 2021. – С.16-19.

15. Фадеева И.В., Фомин А.С., Давыдова Г.А., Селезнева И.И., Трофимчук Е.С., Баринов С.М. *Композиционные материалы на основе поливинилпирролидона и фосфатов кальция для медицины* // *Материаловедение*. – 2021. – №1. – С.31-36.
16. Мамедов Э.И., Дергунова Е.С., Калмыкова Е.Н. *Определение степени набухания фосфорилированных полисахаридов* / 6-ая междунауч. конф. «Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности». Сборник научных статей. – Казань, 2020. – С.136-137.
17. Кудрявский Д.Л., Фомина Е.К., Круль Л.П., Якименко О.В. *Набухание гидрогеля на основе сополимера акриламида и акрилата натрия в водных растворах хлорида меди (ii) с добавками аминокислот* // *Известия национальной академии наук Белоруссии. Серия химических наук*. – 2020. – Т.56. – С.339-351.
18. Ямилинец С.Ю., Арутюнян А.Р. *Оценка печатных свойств офсетного резиноканевого полотна и форм для флексографической печати* / Всерос. научн.-технич. конф. «Полимерные композиционные материалы нового поколения и технологии их переработки». Материалы конференции. – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, 2020. – С.186-201.
19. Ямилинец С.Ю. *Расчет механического проскальзывания в печатной паре плоской офсетной печати без увлажнения пробельных элементов* // *Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела*. – 2011. – №3. – С.062-078.
20. Ямилинец С.Ю. *Расчет механического проскальзывания в печатной паре плоской офсетной печати без увлажнения пробельных элементов* // *Вестник МГУП им. Ивана Федорова*. – 2011. – №6. – С.417-419.
21. Ямилинец С.Ю. *Расчет деформации растровой точки для автоматизации внесения предсказаний* // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2020. – №11. – С.529-531.
22. Ямилинец С.Ю. *Определение факторов, влияющих на растяжение бумаги в печатной машине* // *Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела*. – 2020. – №4. – С.4-13.
23. Ямилинец С.Ю., Кондратов А.П. *Подбор защитных лаков для торцов офсетного резиноканевого полотна* // *Известия тульского государственного университета. Технические науки*. – 2021. – №4. – С.38-45.
24. Байдаков Д.И. *Кинетика набухания шитых эластомеров в растворителях* // *Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела*. – 2013. – №2. – С.003-008.
25. Байдаков Д.И. *Математическое описание кинетики набухания шитых эластомеров в растворителях* // *Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела*. – 2014. – №2. – С.3-9.
26. Байдаков Д.И., Бенда А.Ф. *Соотношение между предельным набуханием образца эластомера и его поверхностного слоя* // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2013. – №3. – С.183-188.
27. Байдаков Д.И. *Оптический метод определения набухания краскопередающего слоя офсетных резиноканевых полотен* // *Вестник МГУП им. Ивана Федорова*. – 2012. – №12. – С.125-129.
28. Байдаков Д.И., Юрочкин Е.А. *Влияние размеров образца шитого эластомера на параметры, характеризующие степень его набухания в жидкостях* // *Вестник МГУП им. Ивана Федорова*. – 2014. – №1. – С.101-105.

29. Байдаков Д.И., Комарова Л.Ю. *Метод определения предельного набухания поверхности многослойного материала* // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – №6. – С.256-262.
30. Смирнова М.А., Гагарин А.Н., Токмачев М.Г., Тротов Х.Т., Ферапонтов Н.Б. *Использование смешанных растворителей для определения концентраций растворенных веществ методом оптической микрометрии* // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2021. – №5. – С.661-668
31. Карташева О.А., Комарова Л.Ю., Байдаков Д.И. *Набухание флексографских печатных форм фирмы dupont в растворителях печатных красок* // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – №4. – С.305-312.
32. Zhuravleva G.N., Syltanova Y.M., Rovenskikh A.A., Yamilinets S.Yu. *The effect of washes on the offset rubber blanket* / IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. III Intern. Science Conf.: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations., 2020. – 62051.
33. ASTM D751-19 Standard Test Methods for Coated Fabrics.

REFERENCES

1. Yankovskij A.P. *Postroenie utochnennoj modeli uprugoplasticheskogo povedeniya gibkikh armirovannykh plastin pri dinamicheskom nagruzhении* [Construction of a refined model of elastic-plastic behavior of flexible reinforced plates under dynamic loading]. *Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruktsii*, 2017, Vol.23, No.2, Pp.283-304.
2. Roohollah Mousavi S., Reza Esfahani M. *Effective moment of inertia prediction of FRP-reinforced concrete beams based on experimental results*. *J. of Composites for Construction*, 2012, Vol.16, No.5, Pp.490-498.
3. Hong S. *Effects of the Amount and Shape of Carbon Fiber-Reinforced Polymer Strengthening Elements on the Ductile Behavior of Reinforced Concrete Beams*. *Mechanics of Composite Materials*, 2014, Vol.50, No.4, Pp.427-436.
4. Dzhagangirov A.A. *Nesushhaya sposobnost' kol'tsevoj trekhslojnoj voloknistoj kompozitnoj plastinki, svobodno opertoj po vnutrennej i zashhemlennoj po vneshnej kromkam* [Bearing capacity of an annular three-layer fibrous composite plate, freely supported along the inner and pinched along the outer edges]. *Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruktsii*, 2015, Vol.21, No.1, Pp.35-46.
5. Movsumov E.A., Shamiev F.G. *Nesushhaya sposobnost' plastinok iz voloknistogo kompozita* [Bearing capacity of fiber composite plates]. *Mekhanika kompozitnykh materialov*, 2005, Vol.41, No.2, Pp.177-192.
6. Morozov I.A. *Novye metody analiza izobrazhenij dlya issledovaniya mikrostruktury rezin, napolnennykh tekhnicheskim uglerodom* [New methods of image analysis for studying the microstructure of rubbers filled with technical carbon]. *Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruktsii*, 2013, Vol.19, No.1, Pp.74-86.
7. Morozov I.A., Lauke B., Heinrich G. *A novel method of quantitative characterization of filed rubber structures by AFM*. *Kautschuk und Gummi Kunststoffe*, 2011, Vol.64, No.2, Pp.24-27.
8. Afanaseva E.A., Goryashnik U.C., Dolgova E.V., Krivushkina A.A. *Izmenenie svojstv ehpoksidnykh polimerov posle vozdejstviya plesnevnykh gribov v zavisimosti*

- ot struktury iskhodnoj ehpoksidnoj smoly [Changes in the properties of epoxy polymers after exposure to mold fungi, depending on the structure of the original epoxy resin. Mechanics of composite materials and structures]. Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruksii, 2021, Vol.26, No.4, Pp.528-543.*
9. Yudin V.A., Ivlev V.I., Fomin N.E., Sigachev A.F. *Mekhanicheskie svoystva sloistogo kompozitnogo materiala na osnove ehpoksidnoj smoly s napolneniem iz ugletkani [Mechanical properties of a layered composite material based on epoxy resin with carbon fiber filling]. Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruksii. 2016, Vol.22, No.2, Pp.192-200.*
 10. Yamilinec S.Yu., Cherkasov E.P., Zhuravleva G.N. *Otsenka tsiklicheskih deformatsij polimernykh pechatnykh form i ofsetnogo rezinotkanevogo polotna [Evaluation of cyclic deformations of polymer printing plates and offset rubber fabric]. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Poligrafiya: sostoyanie i perspektivy ee razvitiya". Materialy konferentsii. Dushanbe, Tadzhijskij tekhnicheskij universitet im. akademika M.S. Osimi, 2020., Pp.488.*
 11. Yamilinetz S.Yu., Zhuravleva G.N., Kondratov A.P. *Chemical resistance of a surface of an offset cylinder of printing equipment. IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations, 2020, 62107.*
 12. Dzhozef L.B., Toriran V.F., Richard S.K. *Pечатное офсетное полотно (варианты), сжимаемая ткань, композитное изделие, способ изготовления сжимаемой ткани, способ изготовления печатного офсетного полотна, способ получения композитного материала [Printed offset rubber (variants), compressible fabric, composite product, method of manufacturing compressible fabric, method of manufacturing printed offset cloth, method of obtaining composite material]. Patent na izobrenenie RU 2110410C1, 10.05.1998. Zayavka №94027280/12 ot 13.11.1992.*
 13. Minnihanova S.M., Timasheva F.G., Hajrullin S.G., Idiatullin I.Z., Gorbacheva N.M., Sapunkova L.M., Seregina V.M. *Konstruksiya polotna dlya ofsetnoj pechati [The design of the canvas for offset printing]. Patent na poleznuyu model' RU 19498 U1, 10.09.2001. Zayavka №2000100510/20 ot 10.01.2000.*
 14. Turdaly K.M., Bejsenbaev O.K., Artykova Zh.K. *Kharakteristiki nabukhaniya poliakrilata natriya i poli (akrilamid-so-akrilovaya kislota) kalievoj soli [Characteristics of swelling of sodium polyacrylate and poly (acrylamide-co-acrylic acid) potassium salt]. XLVI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii". Sbornik statej v 2 chastyakh. Penza, 2021, Pp.16-19.*
 15. Fadeeva I.V., Fomin A.S., Barinov S.M., Davydova G.A., Selezneva I.I., Trofimchuk E.S. *Composite materials based on polyvinylpyrrolidone and calcium phosphates for medicine. Inorganic materials: applied research., 2021, Vol.12, No.4., Pp1060-1065.*
 16. Mamedov E.I., Dergunova E.S., Kalmykova E.N. *Opredelenie stepeni nabukhaniya fosforilirovannykh polisakharidov. Prioritetnye napravleniya innovatsionnoj deyatel'nosti v promyshlennosti [Determination of the degree of swelling of phosphorylated polysaccharides. Priority directions of innovation activity in industry]. Shestaya mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya "Prioritetnye napravleniya innovatsionnoj deyatel'nosti v promyshlennosti". Sbornik nauchnykh statej. Kazan', 2020, Pp.136-137.*

17. Kudryavskij D.L., Fomina E.K., Krul' L.P., Yakimenko O.V. *Nabukhanie gidrogelya na osnove sopolimera akrilamida i akrilata natriya v vodnykh rastvorakh khlorida medi (ii) s dobavkami aminokislot [Swelling of a hydrogel based on a copolymer of acrylamide and sodium acrylate in aqueous solutions of copper (ii) chloride with amino acid additives]*. Izvestiya natsional'noj akademii nauk Belorussii. Seriya khimicheskikh nauk, 2020, Vol.56, Pp.339-351.
18. Yamilinec S.Yu., Arutyunyan A.R. *Otsenka pechatnykh svoystv ofsetnogo rezinotkanevogo polotna i form dlya fleksograficheskoy pechati [Evaluation of the printing properties of offset rubber fabric and forms for flexographic printing]*. Vserossiyskaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya "Polimernye kompozitsionnye materialy novogo pokoleniya i tekhnologii ikh pererabotki". Materialy konferentsii. Moskva, Vserossiyskij nauchno-issledovatel'skij institut aviatsionnykh materialov, 2020., Pp.186-201.
19. Yamilinec S.Yu. *Raschet mekhanicheskogo proskal'zyvaniya v pechatnoj pare ploskoj ofsetnoj pechati bez uvlazhneniya probel'nykh ehlementov [Calculation of mechanical slippage in a printed pair of flat offset printing without humidification of blank elements]*. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela, 2011, No.3, Pp.062-078.
20. Yamilinec S.Yu. *Raschet mekhanicheskogo proskal'zyvaniya v pechatnoj pare ploskoj ofsetnoj pechati bez uvlazhneniya probel'nykh ehlementov [Calculation of mechanical slippage in a printed pair of flat offset printing without humidification of blank elements]*. Vestnik MGUP im. Ivana Fedorova, 2011, No.6, Pp.417-419
21. Yamilinec S.Yu. *Raschet deformatsii rastroyvoj tochki dlya avtomatizatsii vneseniya predyskazhenij [Calculation of the deformation of a raster point for automating the introduction of pre-orders]*. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki, 2020, No.11, Pp.529-531.
22. Yamilinec S.Yu. *Opredelenie faktorov, vliyayushhikh na rastyazhenie bumagi v pechatnoj mashine [Determination of factors affecting the stretching of paper in a printing machine]*. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela, 2020, No.4, Pp.4-13.
23. Yamilinec S.Yu., Kondratov A.P. *Podbor zashhitnykh lakov dlya tortsov ofsetnogo rezinotkanevogo polotna [Selection of protective varnishes for the ends of offset rubber fabric]*. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki, 2021, No.4, Pp.38-45.
24. Bajdakov D.I. *Kinetika nabukhaniya sshitykh ehlastomerov v rastvoritelyakh [Kinetics of swelling of cross-linked elastomers in solvents]*. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela, 2013., No.2. Pp.003-008.
25. Bajdakov D.I. *Matematicheskoe opisaniye kinetiki nabukhaniya sshitykh ehlastomerov v rastvoritelyakh [Mathematical description of the swelling kinetics of cross-linked elastomers in solvents]*. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela, 2014, No.2, Pp.3-9.
26. Bajdakov D.I., Benda A.F. *Sootnoshenie mezhdru predel'nym nabukhaniem obraztsa ehlastomera i ego poverkhnostnogo sloya [The ratio between the limiting swelling of the elastomer sample and its surface layer]*. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki, 2013, No.3, Pp.183-188.
27. Bajdakov D.I. *Opticheskij metod opredeleniya nabukhaniya kraskopere dayushhego sloya ofsetnykh rezinotkanevykh poloten [Optical method for determining the swelling of the ink-transmitting layer of offset rubber fabrics]*. Vestnik MGUP im. Ivana Fedorova, 2012, No.12, Pp.125-129.

28. Bajdakov D.I., Yurochkin E.A. *Vliyanie razmerov obraztса sshitogo ehlastomera na parametry, kharakterizuyushhie stepen' ego nabukhaniya v zhidkostyakh [Influence of the cross-linked elastomer sample size on the parameters characterizing the degree of its swelling in liquids]*. Vestnik MGUP im. Ivana Fedorova, 2014, No.1, Pp.101-105.
29. Bajdakov D.I., Komarova L.Yu. *Metod opredeleniya predel'nogo nabukhaniya poverkhnosti mnogoslojnogo materiala [Method for determining the limit swelling of the surface of a multilayer material]*. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki, 2021, No.6, Pp.256-262.
30. Smirnova M.A., Gagarin A.N., Tokmachev M.G., Trobov H.T., Ferapontov N.B. *Ispol'zovanie smeshannykh rastvoritelej dlya opredeleniya kontsentratsij rastvorenykh veshhestv metodom opticheskoy mikrometrii [The use of mixed solvents to determine the concentrations of dissolved substances by optical micrometry]*. Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy, 2021, Vol 21, No.5, Pp.661-668.
31. Kartasheva O.A., Komarova L.Yu., Bajdakov D.I. *Nabukhanie fleksografских печатных форм фирмы dupont v rastvoritelyakh печатных красок [Swelling of dupont flexographic printing plates in solvents of printing inks]*. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki, 2020, No.4, Pp.305-312.
32. Zhuravleva G.N., Syltanova Y.M., Rovenskikh A.A., Yamilinets S.Yu. *The effect of washes on the offset rubber blanket*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, III Intern. Sci. Conf.: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations, 2020, 62051.
33. ASTM D751-19 Standard Test Methods for Coated Fabrics.

Поступила в редакцию 16 мая 2022 года.

Сведения об авторах:

Ямилинец Станислав Юрьевич – асп., Кафедра «Инновационные материалы принт медиаиндустрии», ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия; e-mail: Ymlnz@yandex.ru

Дмитриев Леонид Дмитриевич – студ., Факультет «Институт принтмедиа и информационных технологий», ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия; e-mail: leonid.dmi.kld@gmail.com

Кондратов Александр Петрович – д.т.н., проф., зав.каф., Кафедра «Инновационные материалы принт медиаиндустрии», ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия; e-mail: a.p.kondratov@mospolytech.ru