

УДК 677.499.017.2/7

**СТАРЕНИЕ СВЕРХПРОЧНЫХ ПАРААРАМИДНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ НИТЕЙ  
В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

*В.Е. РОМАНОВ, Н.П. ЛЕБЕДЕВА, К.Е. ПЕРЕПЕЛКИН, Е.В. БЫЗОВА, А.В. ВИНОГРАДОВА*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Для получения различных видов технического текстиля – тяжело нагруженных текстильных материалов и изделий, средств страховки, спасения и безопасности (страховочные пояса, канаты, тросы, ленты, гибкие лестницы и др.), изделий баллистической защиты, высокопрочных композитов, изделий резинотехники (тяжелые шины, приводные ремни, шланги высокого давления и др.) применяются параарамидные нити, обладающие сверхвысокими механическими характеристиками [1...5]: канаты и тросы на их основе применяются при выполнении глубоководных работ – подъеме затонувших судов или глубоководных аппаратов со сверхбольших глубин, а также в качестве грузонесущих жил в электрических и оптоволоконных кабелях.

При хранении и эксплуатации вышеперечисленных изделий они испытывают

воздействие воды, водных сред, микрофлоры, что может снизить эксплуатационную надежность и сократить сроки возможной эксплуатации. В литературе практически нет сведений о влиянии эксплуатационных воздействий на параарамидные нити и изделия на их основе. В связи с изложенным целью исследований являлось изучение длительного воздействия влаги и микроорганизмов на механические свойства параарамидных нитей.

В качестве объектов исследования были выбраны основные виды параарамидных нитей отечественного и зарубежного производства: русар (Россия) – на основе гетеролициклического параполиамида, кевлар (США) и тварон (Нидерланды) на основе полипарафенилентерефаламида. Характеристики названных нитей приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Нити	Линейная плотность, текс	Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	Удлинение при разрыве, %	Влажность при стандартных условиях, %
Русар	59	225	3,1	3...4
Кевлар 49	130	155	2,2	2...3
Тварон 2040	110	185	2,8	2...3

При изучении длительного воздействия влаги на изменение механических свойств параарамидных нитей образцы выдерживались в дистиллированной воде в течение календарного года (365 суток). После воздействия водной среды по изменению раз-

рывной нагрузки и удлинения при разрыве оценивали влияние длительного воздействия влаги на исследуемые нити.

При изучении воздействия почвенной микрофлоры исследования проводились в Ленинградской области по методике, ре-

комендованной ГОСТом 9.060–75 для текстильных материалов. Экспонирование образцов нитей осуществлялось в летний период, благоприятный для развития микроорганизмов (с мая по ноябрь). Образцы нитей помещали в почву на глубину 10...12 см. Пробы нитей отбирали через каждые 20 дней, после чего оценивали изменение прочности и удлинения при разрыве.

Перед испытаниями все отобранные образцы нитей высушивали на воздухе и кондиционировали при нормальных условиях (относительная влажность  $65 \pm 2\%$  и температура  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) в течение 24 ч. Испытания нитей проводились на разрывной

машине ZT-40 при зажимной длине 250 мм и времени до разрыва  $20 \pm 2$  с. Одновременно записывались диаграммы нагрузка – деформация, позволяющие по наклону их начальной части оценивать величину модуля деформации. Полученные результаты представлены на рис. 1...4 (рис. 1 и 2 – изменение соответственно разрывной нагрузки нитей и удлинения при разрыве нитей после длительного воздействия дистиллированной воды; рис. 3 и 4 – изменение соответственно разрывной нагрузки нитей и удлинения при разрыве нитей после воздействия почвенных микроорганизмов; для рис. 1...4: кривая 1 – русар, 2 – кевлар 49, 3 – тварон 2040).

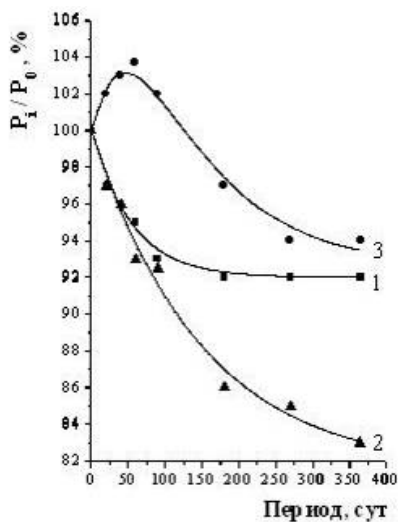


Рис. 1

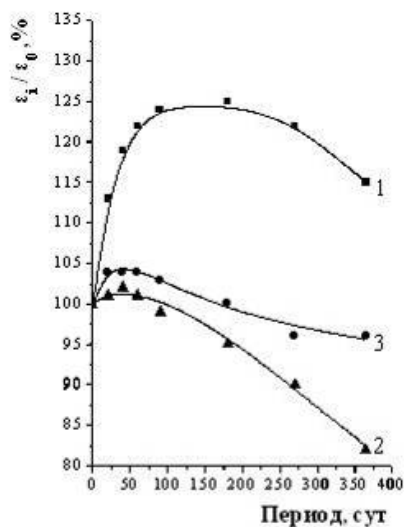


Рис. 2

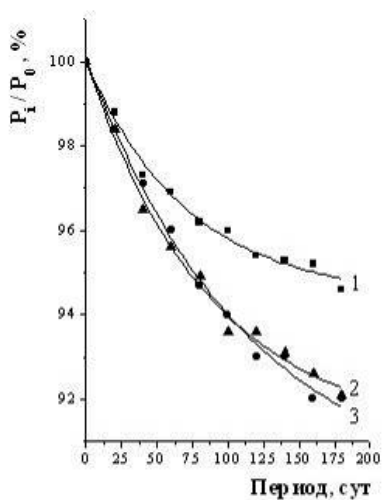


Рис. 3

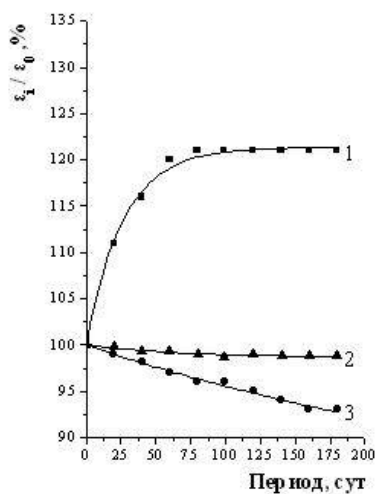


Рис. 4

При длительном воздействии влаги на изменение механических свойств наблюдается монотонное падение прочности нитей русар и кевлар, что, очевидно, связано с пластифицирующим действием воды. Изменение прочности нити тварон в начальный период имеет экстремальный характер, что может быть объяснено конкурирующим пластифицирующим воздействием влаги и одновременным дополнительным упорядочением структуры нитей. Удлинение при разрыве в начальный период увеличивается у всех нитей, а затем у нитей тварон и кевлар снижается, что, вероятно, объясняется конкурирующим влиянием таких факторов, как эффект пластификации водой, так и возможными структурными перестройками в пластифицированном состоянии.

Кинетика изменения прочности нитей русар и кевлар аппроксимируется экспоненциальной зависимостью вида

$$P_i/P_0 = (P_i/P_0)_{\text{ост}} + A_1 \exp(-t/t_1). \quad (1)$$

Изменение прочности нитей тварон может быть представлено двучленным экспоненциальным уравнением вида

$$P_i/P_0 = (P_i/P_0)_{\text{ост}} + A_2 \exp(-t/t_2) + A_3 \exp(-t/t_3). \quad (2)$$

Аналогичное двучленное экспоненциальное уравнение аппроксимирует изменение удлинения при разрыве всех исследуемых нитей

$$\varepsilon_i/\varepsilon_0 = (\varepsilon_i/\varepsilon_0)_{\text{ост}} + A_4 \exp(-t/t_4) + A_5 \exp(-t/t_5), \quad (3)$$

где  $P_i/P_0$ ,  $\varepsilon_i/\varepsilon_0$  – значение разрывной нагрузки и удлинения при разрыве при очередном промежуточном испытании;  $(P_i/P_0)_{\text{ост}}$ ,  $(\varepsilon_i/\varepsilon_0)_{\text{ост}}$  – разрывная нагрузка и остаточное удлинение при разрыве нитей после завершения экспонирования;  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$  – коэффициенты, зависящие от вида нити (табл.2 – коэффициенты уравнений (1), (2) и (3) для описания кинетики изменения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве от продолжительности воздействия влаги).

Таблица 2

Коэффициенты уравнений	Русар	Кевлар 49	Тварон 2040
$(P_i/P_0)_{\text{ост}}$	91,9	81,4	92,6
$A_1$	8,01	18,5	-
$A_2$	-	-	-45,3
$A_3$	-	-	52,3
$t_1$	54,6	144	-
$t_2$	-	-	57,8
$t_3$	-	-	87,6
$(\varepsilon_i/\varepsilon_0)_{\text{ост}}$	111	5,0	92,5
$A_4$	-43,1	-8,1	-8,2
$A_5$	32,3	114	15,7
$t_4$	51,0	115	21,2
$t_5$	214	972	220

При выдерживании нитей в воде угол наклона диаграмм растяжения в начальной их части уменьшается, что свидетельствует о снижении модуля деформации.

При действии почвенных микроорганизмов с течением времени у параарамидных нитей русар наблюдается снижение прочности, свидетельствующее о постепенном микробиологическом разрушении. Повышение удлинения у гетероцикличе-

ских нитей русар, имеющих более высокие гигроскопические характеристики, указывает на одновременное пластифицирующее действие влаги и происходящие при этом структурные изменения. Прочность и удлинение при разрыве параарамидных нитей кевлар и тварон, имеющих более низкие гигроскопические свойства, изменяются в меньшей степени.

Кинетика изменения прочности и уд-

линения при разрыве параарамидных нитей русар, кевлар и тварон при воздействии почвенных микроорганизмов может быть также аппроксимирована экспоненциальными зависимостями:

$$P_i/P_0 = (P_i/P_0)_{\text{ост}} + A_6 \exp^{-t/t_6}, \quad (4)$$

$$\varepsilon_i/\varepsilon_0 = (\varepsilon_i/\varepsilon_0)_{\text{ост}} + A_7 \exp^{-t/t_7}, \quad (5)$$

где  $A_6$ ,  $A_7$ ,  $t_6$ ,  $t_7$  – коэффициенты, зависящие от вида нити (табл.3 – коэффициенты уравнений (4) и (5) для описания кинетики изменения прочности и удлинения при разрыве от длительности воздействия почвенных микроорганизмов).

Т а б л и ц а 3

Коэффициенты уравнений	Русар	Кевлар	Тварон
$(P_i/P_0)_{\text{ост}}$	94,4	91,2	89,7
$A_6$	5,59	8,88	10,4
$t_6$	72,1	86,9	114
$(\varepsilon_i/\varepsilon_0)_{\text{ост}}$	121	98,6	81,5
$A_7$	-21,5	1,42	18,5
$t_7$	26,4	67,5	363

Анализ диаграмм растяжения, полученных после воздействия почвенных микроорганизмов, свидетельствует о незначительном снижении модуля деформации.

Для более полной оценки воздействия почвенных микроорганизмов проводили оценку поврежденности нитей микроскопическим методом [6]. Наблюдалась корреляция между разнообразием видового

состава микроорганизмов и степенью поврежденности нитей (табл.4 – характеристика поврежденности параарамидных нитей под действием микроорганизмов почвы и их видовой состав после максимального времени экспонирования). Следует также отметить незначительное количество плесневых грибов-разрушителей (например, таких, как *Aspergillus*).

Т а б л и ц а 4

Нити	Видовой состав микроорганизмов *		Изменения структуры
	бактерии	микровицеты	
Русар	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i>	-	Наблюдается обрастание и слабая дефектность поверхности, встречаются участки с глубокими трещинами и разрывами оболочек
Кевлар и тварон	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Aspergillus</i> sp.	Наблюдается обрастание микроорганизмами и слабая дефектность поверхности, выявлены изменения формы нитей (в виде вздутий), а также трещины оболочки

П р и м е ч а н и е. \* Выделение и идентификация микроорганизмов проводились по методам, описанным в [7], [8]

## ВЫВОДЫ

1. Исследовано изменение механических свойств параарамидных технических нитей при длительном воздействии эксплуатационных факторов: влаги и микроорганизмов.

2. Установлено, что прочность нитей при воздействии воды монотонно снижается, за исключением нитей тварон. Удлинение при разрыве всех нитей в начальный

период возрастает, а затем снижается. Предельное изменение разрывных характеристик в течение года не превышает 25%.

3. Установлено, что при воздействии почвенных микроорганизмов прочность всех нитей снижается, удлинение у нитей кевлар и тварон монотонно убывает, а у нитей русар – возрастает под влиянием пластифицирующего воздействия влаги. Определены видовой состав микроорга-

низмов и характер поврежденности нитей.

4. Изменения прочности и удлинения при разрыве в зависимости от продолжительности экспонирования в воде и почве аппроксимируются экспоненциальными зависимостями, позволяющими прогнозировать изменения этих показателей во времени. Найдены значения коэффициентов в этих зависимостях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Кудрявцев Г.И., Варшавский В.Я. и др.* Армирующие химические волокна для композиционных материалов. – М.: Химия, 1992.

2. *Кузнецов В.Ю., Крохова О.В.* Кабели, провода и материалы для кабельной индустрии / Технич. справ. – М.: Нефть и газ, 1999. С.35...38.

3. *Перепелкин К.Е., Мачалаба Н.Н. и др.* Вестник СПбГУТД. – 2000, № 4. С.64...83.

4. *Перепелкин К.Е.* // Химические волокна. – 2001, № 5. С.3...7.

5. *Мачалаба Н.Н.* // Химические волокна. – 1999, № 3. С.3...10.

6. *Ермилова И.А.* Теоретические и практические основы микробиологической деструкции химических волокон. – М.: Наука, 1991.

7. *Саттон Д., Фетергилл А., Ринальди.* Определитель патогенных и условно патогенных грибов. – М.: Мир, 2001.

8. *Каневская И.Г.* Биологическое повреждение промышленных материалов. – Л.: Наука, 1984.

Рекомендована кафедрой МТВМ СПбГУТД.  
Поступила 25.12.06.