

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 678.073

DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-4-122-131

Разработка полимерных композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена с высокой стабильностью свойств в условиях резко-континентального климата

Е.С. Колесова*, О.В. Гоголева, П.Н. Петрова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

*lenok27294@mail.ru

Аннотация. В настоящее время при разработке новых функциональных полимерных материалов, особенно арктического назначения, недостаточно обеспечить им повышение основных эксплуатационных показателей – прочности, эластичности, износостойкости, а необходимо создавать полимерные материалы с учетом обеспечения многочисленных требований к эксплуатации. Одно из важных требований – стабильность свойств при воздействии климатических факторов. В данной работе приведены результаты сравнительных исследований физико-механических свойств сверхвысокомолекулярного полиэтилена и модифицированных полимерных композиционных материалов до и после стендовых натурных испытаний на климатическом полигоне в г. Якутск. Исследования изменения физико-механических показателей экспонированных образцов проводились через 1, 3, 6, 9, 12, 18, 24 месяца, также изучены изменения физико-химической структуры методом ИК-спектроскопии. Установлено, что в условиях резко-континентального климата Якутии сверхвысокомолекулярный полиэтилен и композит, содержащий 5 мас. % углеродных волокон марки «Белум», подвергаются старению уже к четвертому месяцу экспонирования. В связи с этим сверхвысокомолекулярный полиэтилен не только модифицировали углеродными волокнами для повышения физико-механических и триботехнических показателей, а также вводили стабилизатор марки «СО-4» производства НИОХ СО РАН, препятствующий, в первую очередь, развитию деструктивно-окислительных процессов в композиционном материале. Установлено, что ПКМ на основе СВМПЭ, содержащий 0,5 мас. % стабилизатора, сохраняет свои деформационно-прочностные свойства на уровне неэкспонированного образца в течение 270 дней. Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что дополнительная модификация композита СВМПЭ-УВ стабилизатором марки СО-4 приводит к замедлению окислительно-деструктивных процессов композита на открытом воздухе, что положительно сказывается на сохранении физико-механических показателей длительное время в условиях воздействия неблагоприятных климатических факторов. Этот факт позволяет прогнозировать высокую работоспособность изделий из разработанного материала в условиях резко-континентального климата Якутии.

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, углеродные волокна, полимерный композиционный материал, климатические испытания, физико-механические свойства, термостабилизатор, натурное экспонирование, Арктика.

Благодарности. Работа выполнена по Госзаданию Министерства науки и высшего образования РФ (Рег. № НИОКР АААА-А21-121011590012-9).

Введение

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) отличается от других полимеров высокими износостойкостью, прочностью, удар-

ной стойкостью, агрессивно- и морозостойкостью и характеризуется низким коэффициентом трения [1–3]. Композиты на основе СВМПЭ перспективны для футеровки емкостей, реакторов и

различных поверхностей [4–6], а также для производства труб и искусственных катков.

В настоящее время при разработке новых функциональных полимерных материалов, особенно арктического назначения, недостаточно обеспечить им повышение основных эксплуатационных показателей, таких как прочность, эластичность, износостойкость, электропроводность. Необходимо создавать полимерные материалы с учетом обеспечения многочисленных требований эксплуатации в экстремальных условиях Севера, одним из которых является стабильность свойств при воздействии климатических факторов.

Известно, что при продолжительном влиянии низких или высоких температур, а также при перепаде температур, при замерзании и оттаивании влаги при контакте материала с окружающей средой в полимерах происходят структурные и химические превращения. В полимерных матрицах эти процессы протекают по-разному. У одних полимеров структурные изменения протекают достаточно быстро, и это может стать причиной сокращения долговечности их эксплуатации. В других материалах, например, с низкой химической стойкостью, при взаимодействии со средой могут происходить химические превращения, существенно влияющие на технические показатели. Климатические испытания помогают не только определять текущее изменение свойств материала, но и прогнозировать изменение данных свойств в определенном будущем [7, 8].

Проведены стендовые натурные испытания образцов сверхвысокомолекулярного полиэтилена и композиционного материала на его основе без и со стабилизатором в соответствии с ГОСТ 9.708-83 на климатическом полигоне, расположенном в г. Якутск. Срок экспонирования образцов составил 12 месяцев.

Материалы и методика исследований

В качестве полимерной матрицы был выбран СВМПЭ марки Gur-4150 с молекулярной массой $9,2 \cdot 10^6$ г/моль. В качестве армирующего наполнителя использованы дискретные углеродные волокна (УВ) марки «Белум» (ОАО «Светлогорск Химволокно» (Беларусь)). Удельная масса составляет $\approx 1,6$ г/см³, диаметр волокон – 7–10 мкм. В качестве противостарителя был выбран стабилизатор марки СО-4 производства НИОХ СО РАН. Он обладает уникальным комплексом полезных свойств: нетоксичен (относится к III–IV классам опасности по ГОСТ 12.1007.76), не

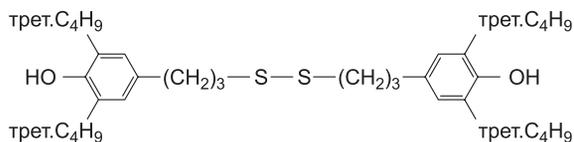


Рис. 1. ди-[3-(3,5-ди-(1,1-диметилэтил)-4-гидроксифенил)пропил]дисульфид.

Fig. 1. di-[3-(3,5-di-(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxyphenyl)propyl]disulfide.

окрашивает полимерные материалы, практически не летуч и термостабилен при температурах выше 250 °С, улучшает прочность, стойкость на изгиб, долговечность и устойчивость к механической нагрузке изделий из полимерных материалов. Химическая формула СО-4 приведена на рис. 1.

Переработка сверхвысокомолекулярного полиэтилена и полимерных композиционных материалов (ПКМ) на его основе проводилась с использованием технологии компрессионного спекания при режиме: давление 10 МПа, температура 180 °С, время выдержки 20 мин.

Предел прочности при растяжении, относительное удлинение при разрыве, модуль упругости определяли по ГОСТ 11262-80 на испытательной машине «UTS-20К».

Метод инфракрасной спектроскопии использован для изучения изменений физико-химической структуры ПКМ. ИК-спектры образцов ПКМ регистрировали методом неполного внутреннего отражения на спектрометре Varian FTIR 7000 Spectrometr в области частот 400–4000 см⁻¹. Идентификацию и анализ ИК-спектров осуществляли по известным методикам с использованием библиотеки спектрометра и данных по ИК-спектрам полимеров.

Исследование изменения основных свойств композитов при естественном старении в климатических условиях, характерных для г. Якутск, проводили по ГОСТ 9.708-83. Экспонирование выполнялось на открытом испытательном полигоне Института проблем нефти и газа СО РАН (ИПНГ СО РАН) – специально оборудованный открытый испытательный полигон обеспечивал ориентацию образцов на юг, угол наклона к линии горизонта составлял 45°, нижний край образцов был расположен на высоте не менее 60 см от грунта.

Естественное старение сопровождается воздействием на полимер изменяющихся климатических условий: естественного ультрафиолето-

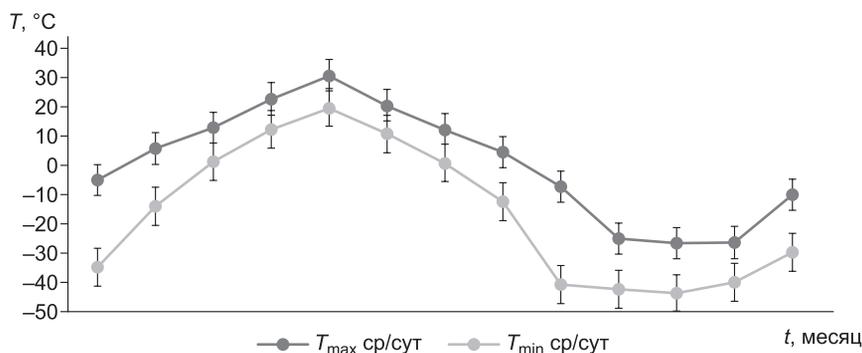


Рис. 2. Максимальные и минимальные среднесуточные температуры окружающего воздуха по месяцам.

Fig. 2. Maximum and minimum average daily ambient temperatures by months.

вого излучения, атмосферных осадков и отчасти озона, колебаниями температуры и других факторов. Климат Республики Саха (Якутия) субарктический, резко-континентальный. Вся территория республики относится к районам Крайнего Севера. Амплитуда средних температур января и июля превышает 75 °C. На рис. 2 приведены максимальные и минимальные среднесуточные температуры по месяцам.

Обсуждение результатов исследований

В ранее проведенных работах показано, что оптимальным комплексом эксплуатационных характеристик обладает композит, содержащий 5 мас. % углеродного волокна марки «Белум» [9]. Поэтому климатические испытания проводились на данном композиционном материале. Образцы в виде пластин и столбиков были выставлены в марте 2018 г. на открытый полигон (рис. 3) при

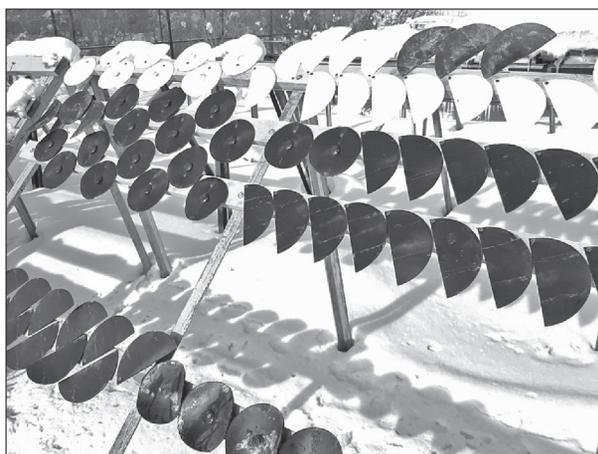


Рис. 3. Экспонированные образцы.

Fig. 3. The exposed samples.

естественных атмосферных условиях г. Якутск. Исследования изменения физико-механических показателей, экспонированных образцов проводились через 1, 3, 6, 9 и 12 месяцев.

Известно, что старению способствуют свет, частая смена циклов нагрев–охлаждение, воздействие кислорода, озона и другие атмосферные факторы. Сущность старения заключается в сложной цепной реакции, протекающей с образованием свободных радикалов (реже ионов), которая сопровождается деструкцией и структурированием полимера. Обычно старение является результатом окисления полимера атмосферным кислородом. Если преобладает деструкция, то полимер размягчается, выделяются летучие вещества. При структурировании повышается хрупкость, наблюдаются потеря эластичности и повышение модуля упругости [10].

Результаты исследований физико-механических свойств СВМПЭ и композита на основе СВМПЭ и УВ, экспонированных в климатических условиях г. Якутск, представлены в таблице 1.

В качестве показателей изменения свойств выбраны прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве и модуль упругости при разрыве. После определения упругопрочностных характеристик композитов, подвергнутых действию климатических факторов, в соответствии с ГОСТ 9.708-83 [11] вычисляли коэффициент сохранения свойств.

Коэффициент сохранения упругопрочностных характеристик (K_t) в процентах вычисляли по формуле

$$K_t = \frac{P_t}{P_0} \cdot 100,$$

где P_t – значение показателя после испытаний к моменту времени t ; P_0 – значение показателя до испытаний.

Установлено, что после экспонирования в течение 1 месяца деформационно-прочностные свойства исходного СВМПЭ и композитов повышаются по сравнению со свойствами исходных образцов. Зарегистрировано повышение относительного удлинения на 35 %, прочность на 20 % в случае немодифицированного СВМПЭ. Относительное удлинение ПКМ увеличилось на 10 % при сохранении прочности на уровне исходного (контрольного) образца. Коэффициент сохранения значений модуля упругости СВМПЭ и ПКМ составляет 92 и 105 % соответственно.

Показано, что относительное удлинение немодифицированного СВМПЭ повышается в 1,6 раза после экспонирования в течение 3 месяцев, затем после 6 месяцев экспонирования на открытом воздухе эластичность у СВМПЭ резко падает до 22 раз по сравнению с исходным полимером. При испытании на растяжение у экспонированных в течение 6, 9 и 12 месяцев образцов наблюдается хрупкое разрушение (рис. 4). В течение всего экспонирования наблюдается монотонное снижение прочности при разрыве. Прочность образца, выставленного в течение 12 месяцев, ухудшилась в 1,8 раза. Таким образом, показано, что образцы СВМПЭ и композиты на его основе, модифицированные УВ, в субарктическом климате РС(Я) подвергаются окислительному старению. Видимо, это связано с изменением их молекулярной структуры, приводящим к потере эластичности, снижению прочности, повышению жесткости и хрупкости [12].

Для изучения изменения физико-химической структуры были проведены ИК-спектроскопические исследования (рис. 5) исходного и экспонированного СВМПЭ. На ИК-спектрах зарегистрированы дуплеты (2915 см^{-1} и 2848 см^{-1}), отвечающие за симметричные и асимметричные валентные колебания С-Н, а также дуплет, отвечающий за деформационные колебания С-Н (1464 см^{-1}), и полосы кристалличности (719 см^{-1}).

Видно, что на поверхности образца, экспонированного на воздухе, появляются пики средней интенсивности в областях $\sim 1745\text{ см}^{-1}$, 1368 см^{-1} , 1234 см^{-1} , 1030 см^{-1} , 805 см^{-1} , что свидетельствует о поглощении поверхностью кислорода, приводящем к образованию карбонильных, карбоксильных и гидроксильных групп. Окисление

полимера приводит к изменению его физической структуры и к ухудшению механических свойств. Протекание окислительных процессов

Таблица 1
Физико-механические свойства СВМПЭ
и композита на его основе

Table 1
Physical and mechanical properties of UHMWPE
and a composite based on it

Время экспонирования Exposure time	Состав Material	$K_t \varepsilon_p$, %	$K_t \sigma_p$, %	$K_t E_m$, %
Исходные Initial	СВМПЭ UHMWPE	100	100	100
	ПКМ PCM	100	100	100
1 мес. 1 month	СВМПЭ UHMWPE	136	120	92
	ПКМ PCM	110	100	105
3 мес. 3 months	СВМПЭ UHMWPE	164	89	111
	ПКМ PCM	15	60	86
6 мес. 6 months	СВМПЭ UHMWPE	4	70	–
	ПКМ PCM	14	60	–
9 мес. 9 months	СВМПЭ UHMWPE	3	58	–
	ПКМ PCM	26	65	–
12 мес. 12 months	СВМПЭ UHMWPE	2	57	–
	ПКМ PCM	26	57	–

Примечание. $K_t \varepsilon_p$ – коэффициент сохранения относительного удлинения при разрыве; $K_t \sigma_p$ – коэффициент сохранения предела прочности при растяжении; $K_t E_m$ – коэффициент сохранения модуля упругости.

Note: $K_t \varepsilon_p$ – coefficient of conservation of elongation at break; $K_t \sigma_p$ – coefficient of preservation of the ultimate tensile strength; $K_t E_m$ – coefficient of conservation of the elastic modulus; UHMWPE – ultrahigh molecular weight polyethylene; PCM – polymer composite material.

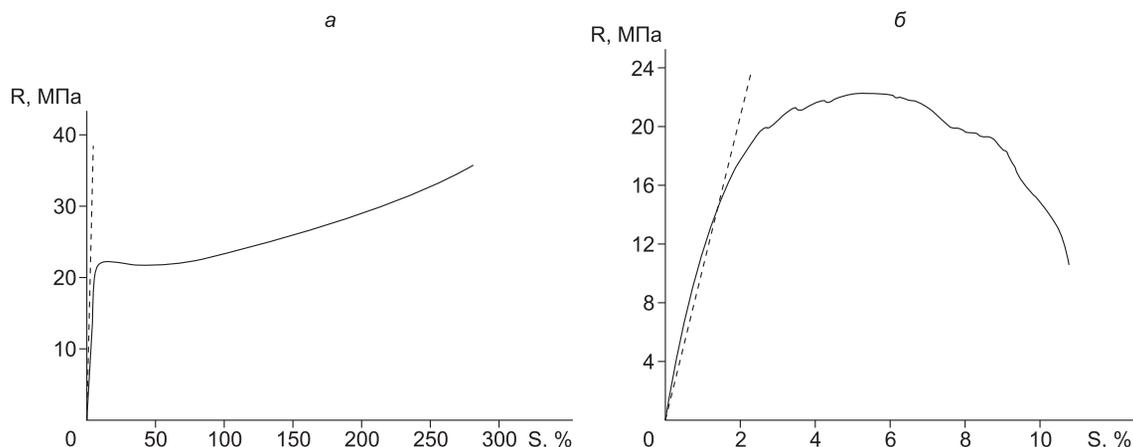


Рис. 4. Графики протоколов испытаний на растяжение СВМПЭ до (а) и после 6 месяцев (б) натурной экспозиции.

Fig. 4. Graphs of the dependence of the ultimate strength on the relative elongation of UHMWPE up to (a) and for 6 months (b) field exposure.

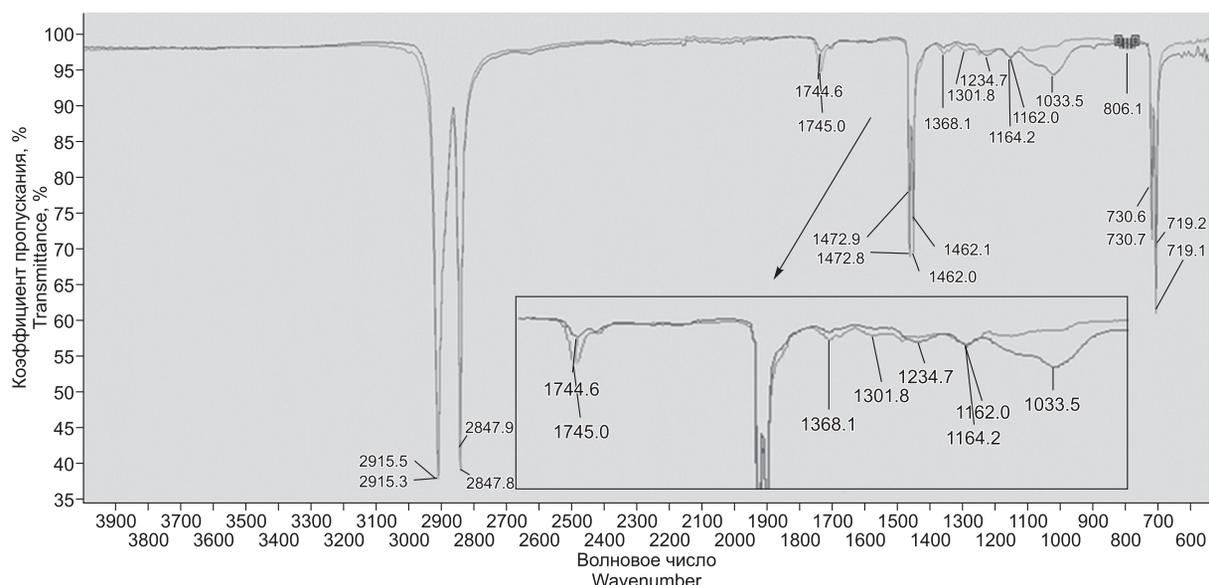


Рис. 5. ИК-спектры исходного СВМПЭ и СВМПЭ, экспонированного в течение 6 месяцев.

Fig. 5. IR spectra of the UHMWPE and UHMWPE exposed for 6 months.

в поверхностном слое СВМПЭ и его композитов обусловлено тем, что климат РС(Я) отличается не только низкими температурами и резкими суточными перепадами в осенний и весенний периоды, но также высокой интенсивностью солнечной радиации и повышенной концентрацией озона в атмосфере [13].

Установлено, что сверхвысокомолекулярный полиэтилен и композит на его основе, модифицированный углеродными волокнами, к шестому месяцу экспонирования подвергаются старению. Процесс старения СВМПЭ и композитов с

УВ марки «Белум» сопровождается падением механических характеристик, охрупчиванием и протеканием процессов окислительной деструкции в поверхностном слое материала. Окислительная деструкция образцов подтверждена появлением на поверхности экспонированного образца пиков, свидетельствующих о поглощении поверхностью кислорода.

В связи с этим для предотвращения термоокислительной деструкции, вызываемой воздействием кислорода воздуха, использовали стабилизатор ди-[3-(3,5-ди-(1,1-диметилэтил)-4-ги-

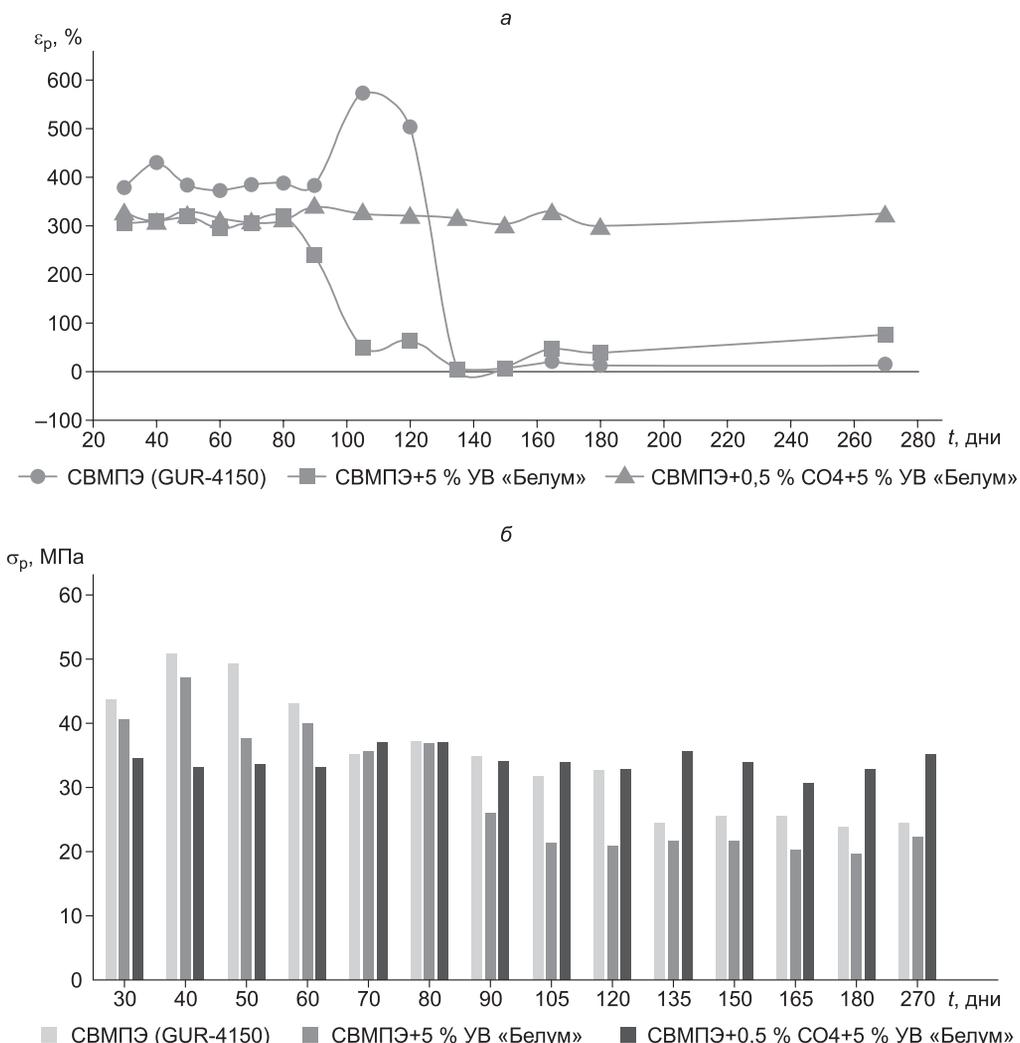


Рис. 6. Зависимость относительного удлинения (а) и предела прочности (б) СВМПЭ, СВМПЭ+5 мас.%УВ и СВМПЭ+0,5 мас.%СО-4+5 мас.%УВ от времени экспонирования.

Fig. 6. Dependence of relative elongation (a) and ultimate strength (б) UHMWPE, UHMWPE + 5 wt.% CF and UHMWPE + 0.5 wt.% CO-4 + 5 wt.% CF on exposure time.

дроксифенил)пропил]дисульфид марки СО-4 производства НИОХ СО РАН. В работах авторов показана перспективность его использования в ПЭ-композитах для повышения климатической стойкости [14]. Эти добавки необходимы, в первую очередь, для предотвращения или ингибирования развития деструктивно-окислительных процессов в полимерных материалах при эксплуатации на открытом воздухе в климатических условиях Якутии [15].

Результаты исследований физико-механических свойств СВМПЭ, композита на основе СВМПЭ и УВ, композита со стабилизатором, подвергнутых натурной экспозиции в климатических условиях г. Якутск, представлены на рис. 6.

Установлено (см. рис. 6, а), что эластичность СВМПЭ в течение 90 дней экспонирования держится на постоянном уровне, на 105-й день экспонирования наблюдается увеличение значения относительного удлинения на 33 %, после чего следует резкий спад эластичности, а ближе к пятому месяцу происходит хрупкое разрушение материала. Известно, что в результате старения полимерных материалов происходят конкурирующие процессы, такие как дополнительное структурирование материала и деструкция полимерных цепей [16]. Повышение относительного удлинения ПКМ под воздействием окружающего воздуха связано с процессами структурирования, а резкая потеря эластичности после 105 дней эк-

спонирования свидетельствует о преобладании окислительно-деструктивных процессов на поверхности образцов.

У ПКМ, модифицированного только углеродными волокнами, спад эластичности происходит уже после 80 дней экспонирования, что может свидетельствовать об интенсификации окислительно-деструктивных процессов за счет наличия легкоокисляемых функциональных групп на поверхности углеродных волокон, например, ОН-группы. Известно, что углеродные волокна марки «Белум» получены из гидратцеллюлозного сырья. Гидратцеллюлоза имеет такое же химическое строение, что и природная целлюлоза – $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$, но является ее структурной модификацией [17].

Также из рис. 6 видно, что ПКМ на основе СВМПЭ, содержащий 0,5 мас.% стабилизатора, сохраняет свои деформационно-прочностные свойства на уровне неэкспонированного образца в течение 270 дней. Коэффициент сохранения показателей относительного удлинения и предела прочности составляет 108 и 98 % соответственно.

Это связано с тем, что при экспонировании ПКМ на открытом воздухе возможны реакции окисления УВ с образованием пероксидных и гидропероксидных радикалов, которые в свою очередь реагируют со стабилизатором СО-4, при этом снижается концентрация этих радикалов вплоть до обрыва цепи радикальных реакций окисления полимерного материала. Образовавшийся новый фенольный радикал от стабилизатора является устойчивым за счет влияния объемных заместителей в орто-положении (см. рис. 1). Далее он может рекомбинироваться друг с другом или реагировать с радикалами окисления с образованием молекулярных продуктов (например, хинонов и исходных фенолов), приводящими к гибели феноксильного радикала – происходит ингибирование процесса окисления ПКМ.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что дополнительная модификация композита СВМПЭ-«Белум» стабилизатором марки СО-4 приводит к замедлению окислительно-деструктивных процессов композита на открытом воздухе, что положительно сказывается на сохранении физико-механических показателей при воздействии климатических факторов Якутии на уровне исходного композита.

Заключение

Установлено, что сверхвысокомолекулярный полиэтилен и композит на его основе, модифици-

рованный углеродным волокном, с 4-го месяца натурной экспозиции в среде окружающего воздуха на климатическом полигоне, расположенном в г. Якутск, начинают подвергаться процессам старения. Процесс старения СВМПЭ и композитов с УВ марки «Белум» сопровождается падением механических характеристик, охрупчиванием и протеканием процессов окислительной деструкции в поверхностном слое материала. Окислительная деструкция образцов подтверждена ИК-исследованиями, наличием на поверхности экспонированных образцов пиков, свидетельствующих об образовании карбонильных, карбоксильных и гидроксильных групп.

Установлено, что модифицирование ПКМ термостабилизатором марки СО-4 позволяет сохранять деформационно-прочностные свойства материала на уровне неэкспонированного образца в течение 9 месяцев, что подтверждает высокую работоспособность изделий из разработанного материала в условиях резко-континентального климата Якутии.

Литература

1. Краснов А.П., Наумкин А.В., Юдин А.С. Природа первичных актов фрикционного взаимодействия СВМПЭ с поверхностью стали // Трение и износ. 2013. № 2. С. 154–164.
2. Люкшин Б.А. и др. Дисперсно-наполненные полимерные композиты технического и медицинского назначения. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. 311 с.
3. Галыгин В.Е., Баронин Г.С., Таров В.П., Завражин Д.О. Современные технологии получения и переработки полимерных и композиционных материалов: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. 180 с.
4. Селютин Е.Г., Гаврилов Ю.Ю., Воскресенская Е.Н. и др. Композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена: свойства, перспективы использования // Химия в интересах устойчивого развития. 2010. № 18. С. 375–388. DOI: <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2020-11-12-48-50>.
5. Chukov D.I., Stepashkin A.A., Gorshenkov M.V., Tcherdyntsev V.V., Kaloshkin S.D. Surface modification of carbon fibers and its effect on the fiber-matrix interaction of UHMWPE based composites // Journal of Alloys and Compounds. 2014. Vol. 586. P. 459–463. DOI: 10.1016/j.jallcom.2012.11.048.
6. Панин С.В., Панин В.Е., Овечкин Б.Б. и др. Влияние наноструктурных наполнителей на структуру и свойства газопламенных покрытий на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена // Физическая мезомеханика. 2006. № 9. С. 141–144.
7. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимер-

ных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 2(51). С. 47–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58.

8. *Petukhova E.S., Fedorov A.L.* Investigation of the climate resistance of stabilized polyethylene composite materials // Procedia Structural Integrity. 2019. Vol. 20. P. 75–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.12.118>.

9. *Gogoleva O.V., Petrova P.N., Kolesova E.S.* Development of polymer composite materials based on ultra-high-molecular weight polyethylene and carbon fillers // Materials Science Forum. 2019. Vol. 945. P. 362–368. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.362>.

10. *Заиков Г.Е.* Деструкция и стабилизация полимеров. М.: Изд-во МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 1993. 248 с.

11. *ГОСТ 9.708-83.* Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Пластмассы. Методы испытаний на старение при воздействии естественных и искусственных климатических факторов. М.: ИПК «Издательство стандартов», 1984.

12. *Черезова Е.Н., Мукменева Н.А., Архиреев В.П.* Старение и стабилизация полимеров. Казань: Изд-во Казанского нац. исслед. технол. ун-та, 2012. 150 с.

13. *Борисов А.И., Гнатюк Г.А.* Природно-географические факторы формирования сети автомобильных дорог Республики Саха (Якутия) // Московский экономический журнал. 2018. № 5(3). С. 63–75. DOI: 10.24411/2413-046X-2018-15115.

14. *Петухова Е.С., Федоров А.Л.* Климатические испытания полиэтиленовых композиционных материалов, содержащих различные стабилизирующие добавки // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019. № 4(24). С. 169–178. DOI: 10.31242/2618-9712-2019-24-4-16.

15. *Смирнова А.И., Осовская И.И.* Функциональные материалы в производстве пластмасс: Антиоксиданты. СПб.: СПбГТУРП, 2015. 31 с.

16. *Грасси Н., Скотт Дж.* Деструкция и стабилизация полимеров: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 446 с.

17. *Васильев В.В., Гарцева Л.А., Циркина О.Г.* Химическая технология текстильных материалов. Иваново: ИГТА, 2005. 124 с.

Поступила в редакцию 26.04.2021

Принята к публикации 11.09.2021

Об авторах

КОЛЕСОВА Елена Семеновна, аспирант, инженер, Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, 20, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-7537-5507>, e-mail: lenok27294@mail.ru;

ГОГОЛЕВА Ольга Владимировна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, 20, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-5425-2295>, e-mail: oli-gogoleva@yandex.ru;

ПЕТРОВА Павлина Николаевна, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, 20, Россия. <http://orcid.org/0000-0002-1859-8034>, e-mail: ppavlina@yandex.ru.

Информация для цитирования

Колесова Е.С., Гоголева О.В., Петрова П.Н. Разработка полимерных композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена с высокой стабильностью свойств в условиях резко-континентального климата // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021, Т. 26, № 4. С. 122–131. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-4-122-131>

DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-4-122-131

Development of polymer composite materials based on ultra-high molecular weight polyethylene with the high stability of characteristics under the conditions of sharply continental climate

E.S. Kolesova*, O.V. Gogoleva, P.N. Petrova

Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, Yakutsk, Russia

**lenok27294@mail.ru*

Abstract. *Currently, when developing new functional polymeric materials, especially for arctic purposes, it is not sufficient to provide an increase in strength, elasticity, wear resistance of these materials, but*

it is necessary to create polymeric materials taking into account operation requirements. One of the important requirements is the stability of properties during operation under climatic factors. This paper presents the results of comparative studies of the physical and mechanical properties of ultra-high molecular weight polyethylene and modified polymer composite materials (PCM) before and after exposition on the climatic field testing ground in Yakutsk. Studies of changes in the physical and mechanical parameters of the exposed samples were carried out after 1, 3, 6, 9, 12, 18, 24 months. Studies of changes in samples structure by IR spectroscopy were also carried out. It has been established that under the conditions of sharply continental climate of Yakutia, ultra-high molecular weight polyethylene and a composite containing 5 wt.% of Belum carbon fibers (CF) are subject to aging by the fourth month of exposure. In this regard, ultra-high molecular weight polyethylene was modified not only with carbon fibers, but also with a stabilizer of the CO-4 brand produced by the NIOCH SB RAS. This stabilizer prevents the propagation of destructive-oxidative processes in the composite material. It is found that PCM based on UHMWPE, containing 0.5 wt.% of a stabilizer, retains its deformation and strength properties at the level of an unexposed sample for 270 days. Thus, on the basis of the studies carried out, it has been established that additional modification of the UHMWPE-CF composite with a stabilizer of the CO-4 grade leads to a slowdown in the oxidative-destructive processes in the composite during exposure. Due to this, physical and mechanical indicators under the influence of unfavorable climatic factors remain unchanged for a long time. This fact allows us to predict high performance of developed materials under the conditions of sharply continental climate of Yakutia.

Keywords: ultra-high molecular weight polyethylene, carbon fibers, polymer composite material, climatic tests, physical and mechanical properties, thermal stabilizer, climatic exposure, the Arctic.

Acknowledgements. The research was carried out according to the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation (No. AAAA-A21-121011590012-9).

References

1. Krasnov A.P., Naumkin A.V., Yudin A.S. Priroda pervichnyh aktov frikcionnogo vzaimodejstviya SVMPE s poverhnost'yu stali // *Trenie i iznos*. 2013. No. 2. P. 154–164.
2. Lyukshin B.A. et al. Dispersno-napolnennye polimernye kompozity tekhnicheskogo i medicinskogo naznacheniya. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2017. 311 p.
3. Galygin V.E., Baronin G.S., Tarov V.P., Zavrzhin D.O. Sovremennye tekhnologii polucheniya i pererabotki polimernyh i kompozicionnyh materialov: uchebnoe posobie. Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2012. 180 p.
4. Selyutin E.G., Gavrilov Yu.Yu., Voskresenskaya E.N. et al. Kompozicionnye materialy na osnove sverhvyso-komolekulyarnogo polietilena: svoystva, perspektivy ispol'zovaniya // *Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya*. 2010. No. 18. P. 375–388. DOI: <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2020-11-12-48-50>.
5. Chukov D.I., Stepashkin A.A., Gorshenkov M.V., Tcherdyntsev V.V., Kaloshkin S.D. Surface modification of carbon fibers and its effect on the fiber-matrix interaction of UHMWPE based composites // *Journal of Alloys and Compounds*. 2014. Vol. 586. P. 459–463. DOI: [10.1016/j.jallcom.2012.11.048](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2012.11.048).
6. Panin S.V., Panin V.E., Ovechkin B.B. et al. Vliyanie nanostrukturnyh napolnitelej na strukturu i svoystva gazoplammennyh pokrytij na osnove sverhvyso-komolekulyarnogo polietilena // *Fizicheskaya mezomekhanika*. 2006. No. 9. P. 141–144.
7. Kablov E.N., Starcev V.O. Sistemnyj analiz vliyaniya klimata na mekhanicheskie svoystva polimernyh kompozicionnyh materialov po dannym otechestvennyh i zarubezhnyh istochnikov (obzor) // *Aviacionnye materialy i tekhnologii*. 2018. No. 2(51). P. 47–58. DOI: [10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58](https://doi.org/10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58).
8. Petukhova E.S., Fedorov A.L. Investigation of the climate resistance of stabilized polyethylene composite materials // *Procedia Structural Integrity*. 2019. Vol. 20. P. 75–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.12.118>.
9. Gogoleva O.V., Petrova P.N., Kolesova E.S. Development of polymer composite materials based on ultra-high-molecular weight polyethylene and carbon fillers // *Materials Science Forum*. 2019. Vol. 945. P. 362–368. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.362>.
10. Zaikov G.E. Destrukciya i stabilizaciya polimerov. M.: Izd-vo MITHT im. M.V. Lomonosova, 1993. 248 p.
11. GOST 9.708-83. Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya (ESZKS). Plastmassy. Metody ispytaniy na starenie pri vozdejstvii estestvennyh i iskusstvennyh klimaticheskih faktorov. M.: IPK «Izdatel'stvo standartov», 1984.
12. Cherezova E.N., Mukmeneva N.A., Arhireev V.P. Starenie i stabilizaciya polimerov. Kazan': Izd-vo Kazanskogo nac. issled. tekhnol. un-ta, 2012. 150 p.
13. Borisov A.I., Gnatyuk G.A. Prirodno-geograficheskie faktory formirovaniya seti avtomobil'nyh dorog Respubliki Saha (Yakutiya) // *Moskovskij ekonomicheskij zhurnal*. 2018. No. 5(3). P. 63–75. DOI: [10.24411/2413-046X-2018-15115](https://doi.org/10.24411/2413-046X-2018-15115).
14. Petuhova E.S., Fedorov A.L. Klimaticheskie ispytaniya polietilenovyh kompozicionnyh materialov, sodержashchih razlichnye stabiliziruyushchie dobavki // *Pri-*

rodnye resursy Arktiki i Subarktiki. 2019. No. 4(24). P. 169–178. DOI: 10.31242/2618-9712-2019-24-4-16.

15. *Smirnova A.I., Osovskaya I.I.* Funkcional'nye materialy v proizvodstve plastmass: Antioksidanty. SPb.: SPbGTURP, 2015. 31 p.

16. *Grassi N., Skott Dzh.* Destrukciya i stabilizaciya polimerov: Per. s angl. M.: Mir, 1988. 446 p.

17. *Vasil'ev V.V., Garceva L.A., Cirkina O.G.* Himicheskaya tekhnologiya tekstil'nyh materialov. Ivanovo: IGTA, 2005. 124 p.

About the authors

KOLESOVA, Elena Semenovna, postgraduate student, engineer, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, 20 Avtodorozhnaya st., Yakutsk 677007, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-7537-5507>, e-mail: lenok27294@mail.ru;

GOGOLEVA, Olga Vladimirovna, Cand. Sci. (Engineering), senior researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, 20 Avtodorozhnaya st., Yakutsk 677007, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-5425-2295>, e-mail: oli-gogoleva@yandex.ru;

PETROVA, Pavlina Nikolaevna, Cand. Sci. (Engineering), associate professor, leading researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, 20 Avtodorozhnaya st., Yakutsk 677007, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-1859-8034>, e-mail: ppavlina@yandex.ru.

Citation

Kolesova E.S., Gogoleva O.V., Petrova P.N. Development of polymer composite materials based on ultra-high molecular weight polyethylene with the high stability of characteristics under the conditions of sharply continental climate // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021, Vol. 26, No. 4. P. 122–131. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-4-122-131>