

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫЙ ПОЛИСАХАРИДАМИ ПОЛИЭТИЛЕН

Л. Н. Студеникина, М. В. Шелкунова, Ю. Н. Дочкина, В. И. Корчагин,
Т. Е. Кудина, В. О. Иушин

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Поступила в редакцию 12.11.2018 г

Аннотация. В работе исследовано влияние внешних факторов на композитный материал - высоконаполненный полисахаридами (ПС) полиэтилен (ПЭ). Объектами исследования были выбраны композиции «ПЭ : ПС» в соотношении 70 : 30 мас.% соответственно, в качестве ПС использовали микроцеллюлозу чистую, микроцеллюлозу отработанную и крахмал; в качестве объекта сравнения использовали чистый ПЭ. Композиции в виде листа получали методом компаудирования с использованием двухшнекового экструдера при температуре 170 °С. Факторами внешнего воздействия были выбраны: разбавленные растворы кислоты и щелочи; повышенная и отрицательная температура воздуха, а также естественные климатические факторы, включающие солнечное УФ-излучение. Прочностные показатели оценивали по ГОСТ 11262-80 с помощью разрывной машины РМ-50 с программным обеспечением StretchTest. Испытания на стойкость к химическим средам проводили согласно ГОСТ 12020-72, используя 0,1 н растворы гидроксида натрия, серной и уксусной кислоты, в течение месяца, отбирая образцы композитных материалов через каждые 7 дней, и определяли их массу, толщину, относительное удлинение и прочность при разрыве. Морозостойкость оценивали при 5-кратном замораживании/размораживании образцов, стойкость к действию повышенных температур оценивали в воздушной среде при температуре 60°С. Влияние естественных климатических факторов, включая солнечное УФ-излучение, оценивали в теплый период года в течение 6 месяцев. Установлено, что прочностные показатели композитных материалов не изменяются при действии повышенной температуры воздуха (60 °С, время воздействия – 28 суток) и естественного солнечного УФ-излучения (время воздействия – 6 месяцев), а при воздействии водной среды (рН = 7.0, время воздействия – 28 суток) и растворов серной и уксусной кислот 0.1 н (рН = 1.2 и 3.0 соответственно, время воздействия – 28 суток) отмечена тенденция незначительного повышения прочности для высоконаполненного крахмалом ПЭ, и тенденция незначительного снижения прочности для высоконаполненного микроцеллюлозой ПЭ; при 5-кратном замораживании/размораживании зафиксировано снижение прочностных показателей для всех исследуемых образцов. На основании полученных данных рассчитаны коэффициенты диффузии воды, растворов серной и уксусной кислот, гидроксида натрия (0.1 н) для высоконаполненного крахмалом и микроцеллюлозой полиэтилена.

Ключевые слова: композитный материал, полиэтилен, полисахариды, внешние факторы

Разработка и исследование композитных материалов, содержащих полисахариды (целлюлозу, микроцеллюлозу, микроцеллюлозу, крахмал, пектин и проч.), как функциональные наполнители различных «матриц», за последние 10 лет не только не потеряли своей актуальности, но и получили широкое развитие в самых различных отраслях [1, 2], например, при получении «зеленых

композитов» для упаковки [3], стойкого к растрескиванию бетона [4], органоминеральных композитов для люминисцентных ламп [5], материалов для художественной реставрации [6] и проч.

В последнее время наблюдается интерес к получению и применению микрокристаллической целлюлозы, или микроцеллюлозы (МЦ), особенно из различных растительных отходов и малочисленных древесных пород [7, 8], как перспективного материала для промышленного применения, что обусловлено ее специфическими свойствами:

© Студеникина Л. Н., Шелкунова М. В., Дочкина Ю. Н., Корчагин В. И., Кудина Т. Е., Иушин В. О., 2019

гидрофильность, водонерастворимость, механическая прочность, относительная химическая и термическая стойкость, совместимость с различными материалами, экологичность и возобновляемость сырья, адсорбирующие свойства и т.д.

Известно применение целлюлозы в качестве адсорбента при очистке сточных вод [9 - 11]. Учитывая, что МЦ может хорошо совмещаться с термопластами [12, 13], а также обладает способностью к иммобилизации микроорганизмов на своей поверхности, представляется целесообразным получение композитных материалов-носителей биомассы, обладающих высокими иммобилизационными свойствами [14], для применения в качестве загрузки сооружений искусственной биологической очистки сточных вод (СИБОСВ).

Следует учитывать, что материалы, применяемые в качестве загрузки СИБОСВ, должны обладать достаточной прочностью, химической стойкостью и стабильностью показателей. Новые материалы, предназначенные для использования в качестве биологических загрузок, особенно содержащие в своем составе реакционноспособные группы, необходимо исследовать на стойкость к внешним воздействиям, присущим СИБОСВ: диапазону pH 5 ÷ 8, температурному диапазону 10 ÷ 30 °С (а также отрицательной температуре на случай форс-мажорных ситуаций в зимнее время), естественным климатическим факторам, включающим солнечное УФ-излучение и проч.

Целью работы является оценка влияния внешних факторов среды на эксплуатационные показатели высоконаполненного полисахаридами (ПС) полиэтилена (ПЭ).

В задачи исследования входила оценка поведения композитных материалов в средах с различным уровнем pH, включающая определение изменений массы образцов, оценку набухаемости (по показателю толщины), прочности и относительного удлинения при разрыве; оценка морозостойкости, а также определение влияния повышенной температуры воздуха на показатели композитных материалов; оценка влияния естественных климатических факторов, включающих солнечное УФ-излучение.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования были выбраны композиции «ПЭ : ПС» в соотношении 70 : 30 мас.% соответственно, в качестве ПС использовали микроцеллюлозу чистую (МЦч), микроцеллюло-

зу отработанную (МЦо), крахмал (К); в качестве объекта сравнения использовали чистый ПЭ. Композиции в виде листа получали методом компаудирования с использованием двухшнекового экструдера при температуре 170 °С.

Критерием стабильности материала было выбрано изменение прочности при разрыве до и после воздействия внешних факторов. Прочностные показатели оценивали по ГОСТ 11262-80 с помощью разрывной машины РМ-50 с программным обеспечением StretchTest. Испытания на стойкость к химическим средам проводили согласно ГОСТ 12020-72, используя 0.1 н растворы гидроксида натрия, серной и уксусной кислоты, в течение месяца, отбирая образцы композитных материалов через каждые 7 дней, и определяли их массу и толщину (по методике, описанной в ГОСТ 12020-72), относительное удлинение и прочность при разрыве. Морозостойкость оценивали при 5-кратном замораживании/размораживании образцов, стойкость к действию повышенных температур оценивали в воздушной среде при температуре 60°С. Влияние естественных климатических факторов, включая солнечное УФ-излучение, оценивали в теплый период года в течение 6 месяцев.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБСУЖДЕНИЕ

Химические свойства высоконаполненного микроцеллюлозой и крахмалом полиэтилена, а, следовательно, и стойкость к внешним факторам, будут зависеть в первую очередь от свойств наполнителя, т.к. сам ПЭ является химически довольно стойким веществом [15].

Известно, что «чистая» микроцеллюлоза представляет собой волокна длиной 10 ÷ 30 мкм с диаметром около 5 мкм [16], отработанная микроцеллюлоза представляет собой волокна таких же размеров с налипшими на них воско- и жироподобными веществами, которые посредством микроскопирования визуализируются как хлопья [13], а крахмал представляет собой округлые частицы правильной формы размером 5 ÷ 10 мкм [17]. Химический состав целлюлозы и крахмала идентичен, однако молекулы целлюлозы имеют линейное (неразветвленное) строение, а молекулы крахмала имеют как линейную, так и разветвленную структуру или форму трехмерной частицы [18]. При комнатной температуре целлюлоза взаимодействует лишь с концентрированными кислотами с образованием глюкозы, а взаимодействие щелочей с целлюлозой может протекать с

образованием соединений типа алкоголята (целлюлозата) или соединений молекулярного типа; при окислении целлюлозы может происходить разрыв гликозидных связей, при этом степень деградации целлюлозы будет зависеть от природы окислителей и условий окисления; крахмал способен гидролизироваться с уменьшением молекулярной массы [19].

По показателю толщины образцов при вымачивании в воде и в растворах NaOH, H₂SO₄, CH₃COOH (0.1 н) в течение 28 суток отмечен незначительный прирост у образца «ПЭ:МЦч» (5-10%) и еще менее выраженный прирост у образца «ПЭ:К» (не более 5 %). Набухание данных материалов обусловлено доступом воды к гидрофильному наполнителю, в том числе, за счет пористой структуры композита. Для образцов «ПЭ:МЦо» не наблюдалось набухания, что может быть связано со значительным содержанием гидрофобных веществ в составе отработанной МЦ, обволакивающих гидрофильный наполнитель, а также создающих подобие водостойкой пленки на поверхности самого композита.

На рис.1 представлена динамика изменения массы образцов при вымачивании в воде и в растворах NaOH, H₂SO₄, CH₃COOH (0.1 н) в течение 28 суток.

Из представленных графических зависимостей видно, что наибольший прирост массы во всех рассматриваемых средах имеет образец «ПЭ:МЦч», при этом для образцов всех исследу-

емых материалов характерно увеличение массы в первые 7 суток, стабилизация показателей в последующие 7 суток и незначительная потеря массы после 14 суток вымачивания.

На основании полученных данных по динамике изменения массы образцов в процессе их вымачивания в различных растворах и в воде были рассчитаны коэффициенты диффузии по методике, описанной в ГОСТ 12020-72. Полученные данные представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что образец состава ПЭ:МЦч имеет наибольшие значения коэффициента диффузии, что может быть связано не только с химической природой наполнителя, но и с размерами его частиц, обуславливающими структурные особенности материала (более высокую пористость, низкую плотность упаковки надмолекулярных структур и проч.).

На рис.2 представлена динамика изменения прочности при разрыве образцов при их вымачивании в воде и в растворах NaOH, H₂SO₄, CH₃COOH (0.1 н) в течение 28 суток.

Отмечена тенденция незначительного повышения прочности у высоконаполненного крахмалом ПЭ в динамике вымачивания во всех рассматриваемых растворах и в воде (что, возможно, связано с агрегацией набухающих крахмальных макромолекул, сопровождающейся повышением межмолекулярных взаимодействий), и, напротив, тенденция незначительного понижения прочности для высоконаполненного микроцеллю-

Таблица 1

Коэффициенты диффузии D (см²/с) растворов серной кислоты, уксусной кислоты и гидроксида натрия (0.1 н) для высоконаполненного полисахаридами ПЭ (30 мас.% наполнителя)

Среда	Коэффициент диффузии для образца состава:			
	ПЭ : МЦч	ПЭ : МЦо	ПЭ : К	ПЭ
раствор NaOH 0,1 н	$1.74 \cdot 10^{-6}$	$6.70 \cdot 10^{-7}$	$9.88 \cdot 10^{-7}$	$1.08 \cdot 10^{-7}$
раствор H ₂ SO ₄ 0,1 н	$0.91 \cdot 10^{-6}$	$4.24 \cdot 10^{-7}$	$8.45 \cdot 10^{-7}$	$1.12 \cdot 10^{-7}$
раствор CH ₃ COOH 0,1 н	$0.96 \cdot 10^{-6}$	$4.35 \cdot 10^{-7}$	$9.12 \cdot 10^{-7}$	$1.20 \cdot 10^{-7}$
дистиллированная вода	$1.05 \cdot 10^{-6}$	$5.93 \cdot 10^{-7}$	$8.07 \cdot 10^{-7}$	$1.03 \cdot 10^{-7}$

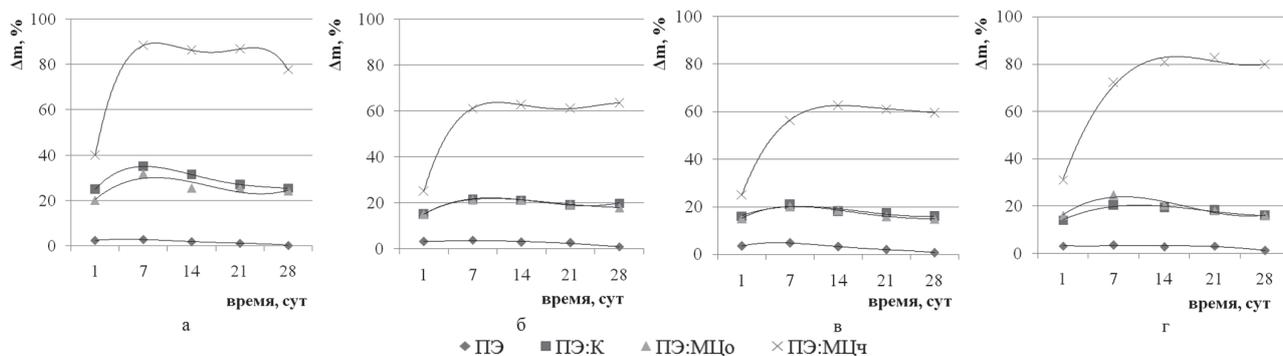


Рис. 1. Динамика изменения массы высоконаполненного полисахаридами ПЭ при вымачивании в растворах: а) р-р NaOH (0.1 н), б) р-р H₂SO₄ (0.1 н), в) р-р CH₃COOH (0.1 н), г) H₂O

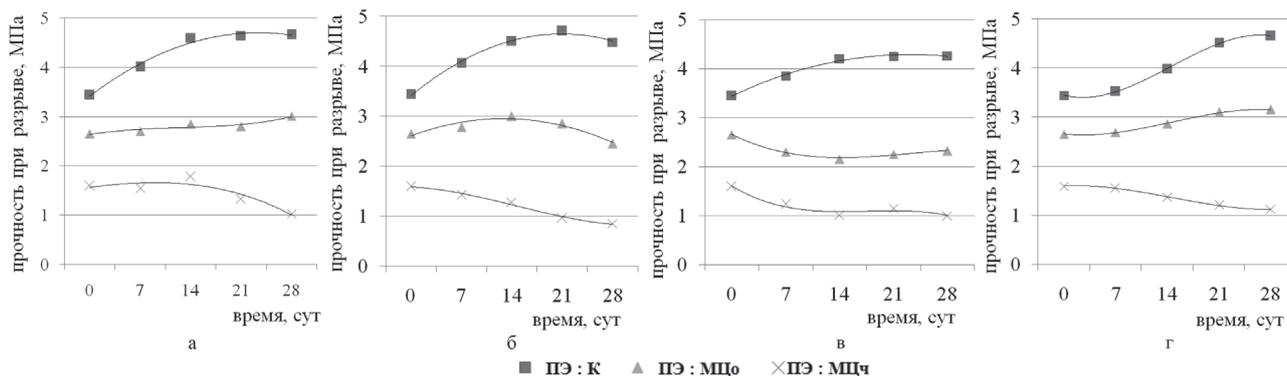


Рис. 2. Динамика изменения прочности при разрыве высоконаполненного полисахаридами ПЭ при вымачивании в растворах: а) р-р NaOH (0.1 н), б) р-р H₂SO₄ (0.1 н), в) р-р CH₃COOH (0.1 н), г) H₂O лозой ПЭ (что может быть связано с набуханием МЦ, сопровождающимся снижением плотности упаковки надмолекулярных структур системы «ПЭ:наполнитель»).

При исследовании влияния на композитные материалы повышенной (60 °С) и отрицательной (-10 °С) температур в воздушной среде, установлено, что показатели толщины образцов не изменялись для всех исследуемых материалов как при повышенной, так и при отрицательной температуре. Показатели массы образцов при замораживании/размораживании также остались стабильны, но при действии повышенной температуры для высоконаполненного полисахаридами ПЭ наблюдалось незначительное снижение массы, связанное с удалением сорбционной влаги воздуха. Прочностные показатели в случае воздействия повышенной температуры также остались на уровне, соответствующем их значениям до воздействия, а в случае отрицательной температуры наблюдалось снижение прочностных показателей при увеличении кратности циклов заморозки/разморозки. В таблице 2 представлены показатели прочности при разрыве композитов «ПЭ:ПС» в зависимости от числа циклов заморозки/разморозки.

Таким образом, отрицательную температуру можно считать лимитирующим фактором внешнего воздействия на высоконаполненный полисахаридами полиэтилен; также можно предположить, что в случае испытаний на морозостойкость

данных композитов во влагонасыщенном состоянии снижение прочности будет иметь более выраженный характер (в данной работе оценивали морозостойкость образцов, кондиционированных на воздухе и содержащих лишь сорбционную атмосферную влагу).

Оценка влияния естественных климатических факторов, включая солнечное УФ-излучение, на высоконаполненный полисахаридами ПЭ проводилась в период с апреля по октябрь 2018 года. Образцы композитного материала в виде листов размером 20x30 см были размещены на открытой незатененной местности (рис.3), по окончании эксперимента из листов были вырублены лопатки, и определена прочность при разрыве, показатели соответствовали первоначальным значениям (до воздействия).



Рис. 3. Испытание образцов высоконаполненного полисахаридами полиэтилена на стойкость к естественным климатическим факторам

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данного исследования определены некоторые закономерности влияния внешних воз-

Таблица 2

Прочность при разрыве (МПа) высоконаполненного полисахаридами ПЭ в зависимости от числа циклов заморозки/разморозки

Образец состава	Прочность при разрыве (МПа) высоконаполненного полисахаридами ПЭ в зависимости от числа циклов заморозки/разморозки				
	1	2	3	4	5
ПЭ : МЦч	1.56	1.51	1.20	1.06	0.85
ПЭ : МЦо	2.52	2.33	2.18	1.94	1.82
ПЭ : К	3.25	3.22	3.01	2.58	2.34
ПЭ	12.54	12.42	12.28	11.89	11.71

действий на эксплуатационные показатели композитного материала состава «ПЭ:ПС» (при содержании полисахарида 30 мас.%). Установлено, что прочность при разрыве композитных материалов не меняется при действии повышенной температуры воздуха (60 °С, время воздействия – 28 суток) и естественного солнечного УФ-излучения (время воздействия – 6 месяцев), а при воздействии водной среды (рН = 7.0, время воздействия – 28 суток) и растворов серной и уксусной кислот 0,1 н (рН = 1.2 и 3.0 соответственно, время воздействия – 28 суток) отмечена тенденция незначительного повышения прочности для высоконаполненного крахмалом ПЭ, и тенденция незначительного снижения прочности для высоконаполненного микроцеллюлозой ПЭ; при 5-кратном замораживании/размораживании зафиксировано снижение прочностных показателей для всех исследуемых образцов.

Определение более точных диапазонов допустимых внешних воздействий требует дополнительных исследований, кроме того, целесообразно изучить вопрос стабильности данных композитов в более продолжительном временном интервале (1 - 2 года), а также вопрос возможности их биодеструкции, т.к. известно, что композиции синтетических и природных полимеров могут быть подвержены воздействию биологических факторов окружающей среды [20].

Работа проводилась при поддержке Федерального государственного бюджетного учреждения «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Susheel K., Dufresne A., Bibin M.C., Kaith B.S., Avérous L., Njuguna J., Nassiopoulos E. // *International Journal of Polymer Science*. 2011. Vol. 2011, p. 35.
2. Zini E., Scandola M. // *Polymer Composites*. 2011. Vol. 32. № 12, pp. 1905-1915.
3. Saba N., Jawaid M., Sultan M.T.H., Alothman O.Y. // *Green Biocomposites*. 2017, pp. 1-27.
4. Peters S.J., Rushing T.S., Landis E.N., Cummins T.K. // *Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.* 2010, pp. 25–28.
5. Nediello M. // *Nanoscale Research Letters*. 2017. Vol. 12, p.98.
6. Cataldi A., Dorigato A., Deflorian F., Pegoretti A. // *J Mater Sci*. 2014. Vol. 49, pp. 2035–2044.
7. Mishra D., Khare P., Das M.R., Mohanty S., Bawan Kule D.U., Kumar P.V.A. // *Cellulose Chem. Technol.* 2018. Vol. 52, pp. 9-17.
8. Zeni M., Favero D., Pacheco K. // *Polymer Sciences*. 2015. Vol. 1, p.7.
9. Filho E.C., Santos Jr.L.S., Silva M.M., Fonseca M.G., Santana S.A., Airoidi C. // *Journal of Materials Research*. 2013. Vol. 16, pp. 79-87.
10. Musyoka S. M., Mittal H., Mishra S. B., Ngila J. C. // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2014. Vol. 65, pp. 389–397.
11. Pangeni B., Paudyal H., Inoue K., Kawakita H., Ohto K., Alam S. // *Cellulose*. 2012. Vol. 19, pp. 381–391.
12. Каримов Э.Х., Каримов О.Х., Даминев Р.Р., Мовсумзаде Э.М., Сабитова Г.Ф., Шарипова А.Ю., Черезов М.Ю. // *Электронный научный журнал: нефтегазовое дело*. 2016. № 5, С. 140-151.
13. Студеникина Л.Н., Корчагин В.И., Шелкунова М.В., Дочкина Ю.Н., Протасов А.В. // *Вестник ВГУ*. 2018. № 3, С. 23-29.
14. Студеникина Л.Н., Протасов А.В., Корчагин В.И., Шелкунова М.В. // *Вестник ВГУИТ*. 2015. № 1, С.150-153.
15. Власов С.В., Кандырин Л.Б., Кулезнев В.Н. и др. *Основы технологии переработки пластмасс: учебник для вузов*. Москва, Мир, 2006, 600 с.
16. Ратько А.И., Иванец А.И., Азаров С.М. // *Неорганические материалы*. 2008. Т. 44. № 7, С. 883-889.
17. Жилиякова Е.Т., Новикова М.Ю., Попов Н.Н., Придачина Д.В., Бондарев А.В. // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6.
18. Дергачёва И.Н. *Химия полимеров: учеб. пособие*. Омск, ОИВТ (филиал) ФГОУ ВПО «НГАВТ», 2011, 81 с.
19. Носкова О.А., Федосеев М.С. *Химия древесины и синтетических полимеров: конспект лекций: в 2 ч.* Пермь, ПГТУ, 2007, ч. 2, 53 с.
20. Raheem A., Aremo B., Adeoye M.O. // *Materials Sciences and Applications*. 2017. Vol. 8, No. 1, pp. 26-36.

Воронежский государственный университет инженерных технологий

Студеникина Л. Н., кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной экологии,

Voronezh State University of Engineering Technologies

Studenikina L. N., PhD, associate Professor of the Department of industrial ecology, equipment

Студеникина Л. Н., Шелкунова М. В., Дочкина Ю. Н., Корчагин В. И., Кудина Т. Е., Иушин В. О.

оборудования химических и нефтехимических производств
chemical and petrochemical industries
E-mail: lubov-churkina@yandex.ru

Шелкунова М. В., аспирант кафедры промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств

Shelkunova M. V., Post-graduate Student, Department of industrial ecology, equipment of chemical and petrochemical industries

Дочкина Ю. Н., аспирант кафедры промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств

Dochkina J. N., Post-graduate Student, Department of industrial ecology, equipment of chemical and petrochemical industries

Корчагин В. И., доктор технических наук, заведующий кафедрой промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств

Korchagin V. I., PhD., DSci., professor; head of the Department of industrial ecology, equipment of chemical and petrochemical industries

Кудина Т. Е., студент кафедры промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств

Kudina T. E., student of the Department of industrial ecology, equipment chemical and petrochemical industries

Иушин В. О., студент кафедры промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств

Iushin V. O., student of the Department of industrial ecology, equipment chemical and petrochemical industries

THE INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS ON THE POLYETHYLENE, FILLED WITH POLYSACCHARIDES

L. N. Studenikina, M. V. Shelkunova, J. N. Dochkina, V. I. Korchagin,
T. E. Kudina, V. O. Iushin

Voronezh State University of Engineering Technologies

Abstract. The influence of external factors on the composite material - polyethylene (PE) high-filled with polysaccharides (PS) was investigated. The objects of study were selected composition "PE: PS" in the ratio of 70 : 30 wt.% , respectively, in the qualities of PS used pure microcellulose, waste microcellulose and starch; as the object of comparison used pure PE. The compositions in the form of a sheet were obtained by compounding using a twin-screw extruder at a temperature of 170 °C. External factors were chosen: dilute acid and alkali solutions, elevated and negative air temperature, as well as natural climatic factors, including solar UV radiation. Strength parameters were estimated according to GOST 11262-80 using a tensile machine RM-50 with the StretchTest software. Tests for resistance to chemical media were carried out in accordance with GOST 12020-72, using 0.1 n solutions of sodium hydroxide, sulfuric acid and acetic acid, for a month, taking samples every 7 days, and determined the mass of samples, thickness, elongation and tensile strength. Frost resistance was evaluated at 5-fold freezing / thawing of samples, resistance to high temperatures was evaluated in the air at a temperature of 60°C. the Influence of natural climatic factors, including solar UV radiation, was evaluated in the warm period of the year for 6 months. It was found that the strength parameters of composite materials do not change under the action of elevated air temperature (60 °C, exposure time-28 days) and natural solar UV radiation (exposure time-6 months), but under the influence of the aqueous medium (pH = 7.0, exposure time-28 days) and solutions of sulfuric and acetic acids 0.1 n (pH = 1.2 and 3.0, respectively, – 28 days) there was a tendency of slight increase in strength for polyethylene filled with starch, and a tendency of slight decrease in strength for polyethylene filled with microcellulose; with 5-fold freezing/defrosting, a decrease in strength parameters for all the

samples was recorded. Based on the data obtained, the diffusion coefficients of water, solutions of sulfuric and acetic acids, sodium hydroxide (0.1 n) for polyethylene filled with starch and microcellulose were calculated.

Keywords: composite material, polyethylene, polysaccharides, external factors

REFERENCES

1. Susheel K., Dufresne A., Bibin M.C., Kaith B.S., Avérus L., Njuguna J., Nassiopoulou E., International Journal of Polymer Science, 2011, Vol. 2011, p. 35. Article ID 837875, <http://dx.doi.org/10.1155/2011/837875>.
2. Zini E., Scandola M., Polymer Composites, 2011, Vol. 32, No 12, pp. 1905-1915. doi.org/10.1002/pc.21224.
3. Saba N., Jawaid M., Sultan M.T.H., Alothman O.Y., Green Biocomposites, 2017, pp. 1-27. DOI 10.1007/978-3-319-49382-4_1.
4. Peters S.J., Rushing T.S., Landis E.N., Cummins T.K., Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2010, pp. 25-28. DOI: 10.3141/2142-04.
5. Nediello M., Nanoscale Research Letters, 2017, Vol. 12, p. 98. DOI 10.1186/s11671-017-1862.
6. Cataldi A., Dorigato A., Deflorian F., Pegoretti A., J Mater Sci., 2014, Vol. 49, pp. 2035-2044. DOI 10.1007/s10853-013-7892-6.
7. Mishra D., Khare P., Das M.R., Mohanty S., Bawan Kule D.U., Kumar P.V.A., Cellulose Chem. Technol., 2018, Vol. 52, pp. 9-17.
8. Zeni M., Favero D., Pacheco K., Polymer Sciences, 2015, Vol. 1, p. 7. DOI: 10.21767/2471-9935.100007.
9. Filho E. C., Santos Jr.L.S, Silva M.M., Fonseca M.G., Santana S.A., Airolidi C., Journal of Materials Research, 2013, Vol. 16, pp. 79-87.
10. Musyoka S.M., Mittal H., Mishra S.B., Ngila J.C., International Journal of Biological Macromolecules, 2014, Vol. 65, pp. 389-397.
11. Pangei B., Paudyal H., Inoue K., Kawakita H., Ohto K., Alam S., Cellulose, 2012, Vol. 19, pp. 381-391.
12. Karimov E.Kh., Karimov O.Kh., Daminov R.R., Movsumzade E.M., Sabitova G.F., Sharipova A.Yu., Through M.Y., Electronic scientific journal. Oil and gas business, 2016, No 5, pp. 140-151.
13. Studenikina, L.N., Korchagin V.I., Shelkunova M.V., Dochkina J.N., Protasov A.V., Vestnik VGU, 2018, No 3, pp. 23-29.
14. Studenikina, L.N., Protasov A.V., Korchagin V.I., Shelkunova M.V. Vestnik VGU, 2015, No 1, pp. 150-153.
15. Vlasov S.V., Kandyrin L., Kuleznev V. Fundamentals of plastics processing technology: textbook for universities. Moscow, Publ., Mir, 2006, 600 p.
16. Rat'ko A.I., Ivanets A.I., Azarov S.M., Inorganic materials, 2008, Vol. 44, No 7, pp. 883-889.
17. Zhilyakova E.T., Novikova M.Yu., Popov N.N., Pridachin D.V., Bondarev, A.V., Modern problems of science and education, 2012, No. 6.
18. Dergacheva I.N. Chemistry of polymers: studies. Omsk, Publ., Joint Institute for high temperatures of FGOU VPO "ACADEMY", 2011, 81 p.
19. Noskova O.A., Fedoseev M.S. Chemistry of wood and synthetic polymers: lecture notes. Perm, Publishing house PGU, 2007, pt. 2, 53 p.
20. Raheem A., Aremo B., Adeoye M.O., Materials Sciences and Applications, 2017, Vol.8, No.1, pp. 26-36. DOI: 10.4236/msa.2017.81003 J.