

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТА, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МОНТМОРИЛЛОНИТОМ

В.В. Куренков, О.В. Пашков, В.А. Герасин

Виктор Владиславович Куренков *, Олег Владимирович Пашков, Виктор Анатольевич Герасин
Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Ленинский проспект, 29, Москва,
Российская Федерация, 119991
E-mail: viktorkur@yandex.ru *, gerasin@ips.ac.ru

Водно-дисперсионные материалы на основе поливинилацетата, благодаря невысокой стоимости, экологической безопасности и хорошим эксплуатационным характеристикам, широко применяются в промышленности, например, в качестве клеевых соединений и связующих лакокрасочных материалов. Недостаток таких материалов – низкая водостойкость, а также сравнительно невысокие физико-механические характеристики. Для улучшения характеристик лакокрасочных покрытий на основе водных дисперсий поливинилацетата предложено модифицировать их введением малых концентраций натриевого монтмориллонита. В работе исследованы характеристики модельных пигментированных лакокрасочных материалов и покрытий на основе поливинилацетата, модифицированных монтмориллоном. Использовали природный натриевый монтмориллонит, пластифицированную дибутилфталатом водную дисперсию ПВА и пигмент – диоксид титана. Полученные модельные лакокрасочные материалы являются псевдопластическими жидкостями, при этом введение монтмориллонита вызывает значительное увеличение предела текучести и придает дисперсиям тиксотропные свойства. При введении монтмориллонита (1-2 %) в материал обеспечивается увеличение модуля упругости отвержденной пленки (как непигментированного, так и пигментированного материала) в 3–8 раз без снижения прочности, что обусловлено адгезионным упрочнением композита. Введение монтмориллонита не вызывает ухудшения укрывистости лакокрасочного материала. Модификация покрытий монтмориллоном способствует повышению их твердости и снижению водопоглощения (до 2,5 раза при введении 2 % монтмориллонита). Снижение водопоглощения полимерного материала при введении монтмориллонита может быть связано с уменьшением свободного объема в композите, формированием граничных слоев полимера с измененными физико-химическими свойствами, а также уменьшением коэффициента диффузии воды в композите. Представленный подход для улучшения свойств покрытий может быть реализован без значительных затрат ввиду невысокой стоимости природного натриевого монтмориллонита и простоты введения его в водно-дисперсионные материалы.

Ключевые слова: монтмориллонит, нанокompозит, покрытия, лакокрасочные материалы

PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF COATINGS ON BASIS OF POLYVINYL ACETATE MODIFIED WITH MONTMORILLONITE

V.V. Kurenkov, O.V. Pashkov, V.A. Gerasin

Viktor V. Kurenkov *, Oleg V. Pashkov, Viktor A. Gerasin
A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis, RAS, Leninskiy ave., 29, Moscow, 119991, Russia
E-mail: viktorkur@yandex.ru *, gerasin@ips.ac.ru

Water-dispersion materials based on poly (vinyl acetate) are widely used in industry as adhesive compositions and binders for polymer coatings due to their low cost, ecological safety and good performance characteristics. Drawbacks of such materials are insufficient water resistance and relatively low physical-mechanical properties. For improvement of performance characteristics of poly (vinyl acetate) based coatings it is proposed to modify the water-dispersion materials by incorporation of small amounts of sodium montmorillonite. In the article characteristics of model

pigmented paint materials and coatings based on poly (vinyl acetate) dispersion modified with sodium montmorillonite are presented. Commercial water dispersion of PVA plasticized with dibutyl phthalate, natural sodium montmorillonite and titanium dioxide (pigment) were used for preparation of model paint materials. The obtained specimens of model paint materials are pseudoplastic fluids, incorporation of montmorillonite leads to significant increase in yield stress. Materials modified with montmorillonite exhibit thixotropic properties. Addition of 1-2 % wt. montmorillonite to the material leads to increase in the Young modulus of dried films up to 8 times without decrease in tensile strength. The obtained effect is attributed to adhesion strengthening of the composite material. Incorporation of montmorillonite does not hinder the covering power of the paint material. Montmorillonite-modified coatings show increased hardness and reduced water absorption capacity (up to 2.5 times with addition of 2 % wt. montmorillonite). Reduction of water uptake of polymer material modified with montmorillonite can be attributed to reduction of free volume in the composite, formation of interface layers of polymer with different physico-chemical properties, and also to the decrease in the diffusion coefficient of water in the composite. The suggested approach to improvement of the coating characteristics can be implemented without major expenditure due to low cost of natural sodium montmorillonite and simplicity of its incorporation in water-dispersion materials.

Key words: montmorillonite, nanocomposite, coating, paint material

Для цитирования:

Куренков В.В., Пашков О.В., Герасин В.А. Эксплуатационные характеристики покрытий на основе поливинилацетата, модифицированных монтмориллонитом. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 8. С. 126–131

For citation:

Kurenkov V.V., Pashkov O.V., Gerasin V.A. Performance characteristics of coatings on basis of polyvinyl acetate modified with montmorillonite. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 8. P. 126–131

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные композиции на основе водных дисперсий поливинилацетата (ПВА) широко применяются в промышленности ввиду экологической безопасности, невысокой стоимости и достаточно хороших эксплуатационных характеристик (адгезия, светостойкость) [1-3]. Материалы на основе ПВА используются в качестве клеевых композиций, связующих для лакокрасочных материалов (ЛКМ), добавок к строительным смесям. Недостаток таких материалов – низкая водостойкость [4], а также сравнительно невысокие физико-механические характеристики.

Перспективным подходом для улучшения физико-механических и эксплуатационных характеристик полимерных материалов является введение наноразмерных пластинчатых наполнителей, в частности монтмориллонита (ММТ) [5-8]. Так, при введении ММТ (природного или органомодифицированного) в полимерную матрицу может быть обеспечено увеличение модуля упругости и предела прочности композита, снижение газо- и паропроницаемости, увеличение прочности адгезионного соединения [9-14]. В частности, при введении ММТ в клеевую композицию на основе ПВА достигается повышение физико-механических характеристик [4, 15]. Однако характеристики лакокрасочных

сочных покрытий на основе ПВА, модифицированных ММТ, исследованы недостаточно, несмотря на перспективность практического применения таких материалов.

Авторами проведены исследования структуры композитов на основе дисперсий ПВА, модифицированных ММТ [16]. Подтверждена хорошая совместимость пластифицированной дисперсии ПВА и натриевого ММТ (наблюдается формирование либо интеркалированных, либо эксфолированных нанокompозитов в зависимости от содержания ММТ в образцах). Введение ММТ в дисперсию ПВА позволяет повысить седиментационную устойчивость дисперсии и регулировать ее реологические свойства. Благодаря хорошей совместимости ММТ с компонентами дисперсии ПВА, для получения нанокompозита не требуется органомодификация ММТ, что значительно упрощает и удешевляет процесс. В связи с изложенными факторами, изучение характеристик покрытий на основе ПВА, модифицированных ММТ, представляет научный и практический интерес.

Цель работы – исследование возможности улучшения физико-механических и эксплуатационных характеристик модельных лакокрасочных покрытий на основе водной дисперсии ПВА путем их модификации малыми добавками натриевого ММТ.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе использовали дисперсию ПВА пластифицированную грубодисперсную марки ДФ 51/10С (ГОСТ 18992–80), массовая доля сухого остатка 51-53% мас. В качестве пигмента применяли диоксид титана марки DuPont Ti-Pure R-706. Натриевый ММТ марки Cloisite Na⁺ (Southern Clay, США) использовали в виде водной дисперсии с концентрацией 5,66 мас. % (рН = 8,61), полученной на эжекторной установке [17].

Для получения пигментированных материалов предварительно готовили пигментную пасту диспергированием пигмента в воде в присутствии стабилизатора (поливиниловый спирт) с применением лабораторного бисерного диспергатора, частота вращения вала 910 мин⁻¹. Диспергирование проводилось до степени перетира 35 мкм. Затем водную дисперсию ПВА и пигментную пасту совмещали в колбе при перемешивании (продолжительность 15 мин, частота вращения мешалки 60 мин⁻¹). Рецепт модельного ЛКМ, % мас.: дисперсия ПВА 44,82; диоксид титана 27,46; вода 27,32; поливиниловый спирт 0,40. Объемная концентрация пигмента 23 % об.

Совмещение дисперсии ММТ и водно-дисперсионных полимерных материалов (пигментированных и непигментированных) проводили перемешиванием в колбе при комнатной температуре в течение 20 мин. Получали образцы с содержанием ММТ 1 и 2 % мас. в пересчете на полимер (ПВА), что соответствовало 0,22 и 0,45% мас. модельного пигментированного ЛКМ.

Реологические исследования проводили на ротационном реометре Physica MCR301 (Anton Paar, Австрия) с использованием измерительного узла конус–плоскость. Измерения выполняли при 20 °С в условиях ступенчатого изменения скорости сдвига для получения кривых течения образцов.

Образцы покрытий для определения твердости и водопоглощения наносили кистью на стеклянную подложку с последующим отверждением (сушкой) при комнатной температуре в течение 7 сут. Для получения свободных пленок покрытия наносили на фотопластовую подложку, которая после отверждения отделялась.

Степень перетира пигментированных материалов определяли по ГОСТ 6589–74, укрывистость материала – по ГОСТ 8784–75, время высыхания – по ГОСТ 19007–73. Твердость покрытий охарактеризовали с использованием маятничкового прибора (маятник Кенига) по ГОСТ 5233–89, водопоглощение покрытий – по методике ГОСТ 21513–76.

Механические испытания (одноосевое растяжение) проводились на приборе марки TIRAtest при температуре 20 °С, скорость растяжения 5 мм/мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Монтмориллонит широко применяется в качестве реологической добавки к материалам на водной основе. Реологические свойства ЛКМ имеют большое значение для обеспечения высокого качества покрытия, поэтому были получены кривые течения модельных пигментированных ЛКМ, модифицированных ММТ (рис. 1). Влияние добавок ММТ на реологические характеристики непигментированных водных дисперсий ПВА подробно рассмотрено в работе [16].

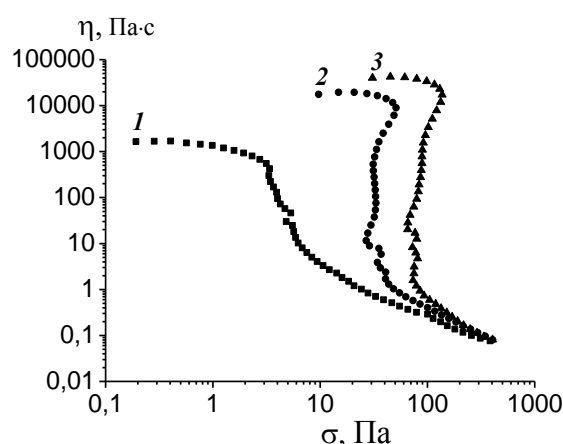


Рис. 1. Кривые течения пигментированных материалов на основе дисперсии ПВА: 1, 2, 3 – образцы с содержанием ММТ 0, 1, 2 %

Fig. 1. Flow curves of PVA-based pigmented materials: 1, 2, 3 – specimens with MMT concentration 0, 1, 2 %

Для изучаемых материалов характерно псевдопластичное поведение с предельным напряжением сдвига. При введении ММТ наблюдается значительное увеличение вязкости и предела текучести материала, что связано с увеличением плотности трехмерной сетки в дисперсии при введении наноразмерных пластинок ММТ [16].

Для пигментированных дисперсий ПВА, содержащих ММТ, характерны тиксотропные свойства – наблюдается гистерезис на кривых течения (рис. 2). Данный эффект обусловлен образованием обратимо разрушаемых коагуляционных контактов между частицами натриевого монтмориллонита и поливинилацетата. Тиксотропные свойства ЛКМ полезны для эффективного нанесения ЛКМ и получения качественного покрытия контролируемой толщины без потеков и других подобных дефектов.

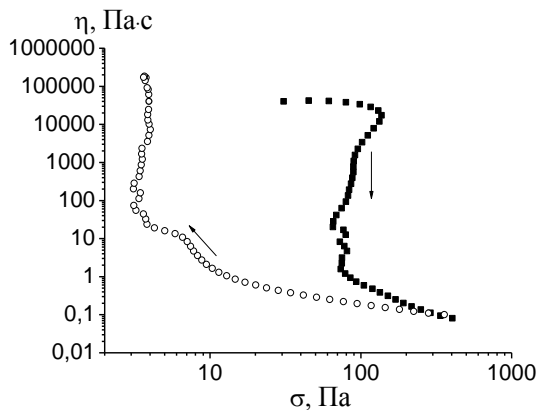


Рис. 2. Гистерезис на кривой течения (образец модельного ЛКМ с содержанием ММТ 2 %; черные и светлые точки соответствуют режимам повышения и понижения скорости сдвига)
Fig. 2. Hysteresis on flow curves (model paint material with MMT content of 2 %; dark and light dots represent modes of increasing and decreasing shear rate)

Из модельных водно-дисперсионных материалов были получены покрытия и свободные пленки. Время высыхания покрытий до степени 3 при температуре (20 ± 2) °C составляет 1 ч и не изменяется при введении ММТ. Характеристики образцов сведены в таблицу.

Таблица

Физико-механические и эксплуатационные свойства пленок и покрытий на основе композиций ПВА, модифицированных ММТ

Table. Physico-mechanical and performance characteristics of films and coatings based on PVA compositions modified with MMT

Показатель	Значение для композита с содержанием ММТ, % мас.		
	0	1	2
Непигментированные материалы			
Модуль упругости, МПа	0,6 ±0,1	1,9 ±0,3	2,9 ±0,8
Прочность при разрыве, МПа	4,8 ±0,7	5,1 ±0,4	4,7 ±0,4
Относительное удлинение при разрыве, %	617 ±79	379 ±43	307 ±46
Пигментированные материалы			
Модуль упругости, МПа	1,2 ±0,3	6,5 ±2,5	8,1 ±3,2
Прочность при разрыве, МПа	2,7 ±0,4	2,8 ±0,3	3,0 ±0,3
Относительное удлинение при разрыве, %	415 ±90	280 ±70	160 ±60
Укрывистость, г/м ² , не более	80,2	81,4	80,7
Твердость, усл. ед.	0,22	0,24	0,25
Водопоглощение, %	77,5	70,5	30,3

Из данных таблицы очевидно, что модификация монтмориллонитом обеспечивает значитель-

ное повышение модуля упругости пленок композитов без снижения разрывной прочности. Это свидетельствует о высокой адгезионной прочности на межфазной границе «полимер – ММТ» и, соответственно, о хорошей совместимости ММТ и полимерной матрицы (пластифицированного поливинилацетата). Обеспечивается адгезионное упрочнение как непигментированных, так и пигментированных модельных покрытий.

Введение ММТ в пигментированный образец не приводит к снижению укрывистости модельного ЛКМ. В сочетании с возможностью регулирования реологических свойств дисперсии при модификации, это может способствовать снижению расхода ЛКМ при окраске.

Покрытия, модифицированные ММТ, характеризуются повышенной твердостью; это предположительно обусловлено упорядочением полимерных цепей вблизи алюмосиликатной поверхности, что часто наблюдается в случае хорошей совместимости полимера и высокодисперсного наполнителя [18]: формирующийся граничный слой полимера характеризуется повышенными физико-механическими свойствами по сравнению с полимером в объеме.

Модификация покрытий монтмориллонитом позволяет обеспечить значительное снижение водопоглощения покрытий (в 2,5 раза при введении 2% ММТ). Это также может быть обусловлено уплотнением надмолекулярной структуры полимерной матрицы; кроме того, при введении пластинчатых наночастиц уменьшается коэффициент диффузии молекул воды в композите [19]. Аналогичный эффект снижения водопоглощения при введении алюмосиликатных нанонаполнителей был отмечен в литературе для покрытий на основе других полимеров [20, 21]. Резкое снижение водопоглощения покрытия при увеличении содержания ММТ от 1 до 2% мас. может быть связано с изменением наноструктуры композита: по данным работы [16] в этом диапазоне концентраций ММТ в ПВА наблюдается переход от эксфолиированной морфологии нанокомпозита к интеркалированной морфологии, характеризующейся более высокой степенью упорядоченности частиц.

ВЫВОДЫ

Модификация водных дисперсий ПВА натриевым ММТ способствует устранению основных недостатков материалов и покрытий на основе ПВА – низкой водостойкости и невысоких физико-механических характеристик. Небольшая стои-

мость ММТ, простота введения в водно-дисперсионные материалы, возможность регулирования реологических свойств дисперсии и достигаемое улучшение характеристик модифицированных покрытий обуславливают перспективность практиче-

ского применения модифицированных монтмориллонитом водно-дисперсионных материалов, в том числе лакокрасочных материалов на основе поливинилацетата.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИХХС РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Williams P.A.** Handbook of Industrial Water Soluble Polymers. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd. 2007. 344 p.
2. **Freitag W., Stoye D.** Paints, coatings and solvents. Weinheim, New York, Basel, Cambridge, Tokyo: Wiley-VCH. 1998. 414 p.
3. **Peruzzo P.J., Bonnefond A., Reyes Y., Fernández M., Fare J., Ronne E., Paulis M., Leiza J.R.** Beneficial in-situ incorporation of nanoclay to waterborne PVAc/PVOH dispersion adhesives for wood applications. *Int. J. Adhes. Adhes.* 2014. V. 48. P. 295–302. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2013.09.042.
4. **Kaboorani A., Riedl B.** Effects of adding nano-clay on performance of polyvinyl acetate (PVA) as a wood adhesive. *Composites Part A.* 2011. V. 42(8). P. 1031–1039. DOI: 10.1016/j.compositesa.2011.04.007
5. **Gerasin V.A., Antipov E.M., Karbushev V.V., Kulichikhin V.G., Karpacheva G.P., Talroze R.V., Kudryavtsev Y.V.** New approaches to the development of hybrid nanocomposites: from structural materials to high-tech applications. *Russ. Chem. Rev.* 2013. V. 82. N 4. P. 303–332. DOI: 10.1070/RC2013v082n04ABEH004322.
6. **Bergaya F., Theng B.K.G., Lagaly G.** Handbook of clay science: Developments in clay science. V. 1. Amsterdam, Netherlands: Elsevier. 2006. 1246 p.
7. **Bitinis N., Hernández M., Verdejo R., Kenny J.M., Lopez-Manchado M.A.** Recent advances in clay/polymer nanocomposites. *Adv. Mater.* 2011. V. 23. N 44. P. 5229–5236. DOI: 10.1002/adma.201101948.
8. **Tan B., Thomas N.L.** A review of the water barrier properties of polymer/clay and polymer/graphene nanocomposites. *J. Membr. Sci.* 2016. V. 514. P. 595–612. DOI: 10.1016/j.memsci.2016.05.026.
9. **Ilyin S.O., Brantseva T.V., Gorbunova I.Y., Antonov S.V., Korolev Y.M., Kerber M.L.** Epoxy reinforcement with silicate particles: Rheological and adhesive properties—Part I: Characterization of composites with natural and organically modified montmorillonites. *Int. J. Adhes. Adhes.* 2011. V. 61. P. 127–136. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2015.05.008.
10. **Brantseva T., Antonov S., Kostyuk A., Ignatenko V., Smirnova N, Korolev Y., Tereshin A., Ilyin S.** Rheological and adhesive properties of PIB-based pressure-sensitive adhesives with montmorillonite-type nanofillers. *Eur. Polym. J.* 2016. V. 76. P. 228–244. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2016.01.040.
11. **Куренков В.В., Герасин В.А., Королев Ю.М., Пирязев А.А., Менделеев Д.И., Дьячук С.В.** Полиэтилен-алюмосиликатные наноккомпозиты для защитных покрытий магистральных трубопроводов. *Пластич. массы.* 2015. № 7–8. С. 53–60.
12. **Fogelström L., Malmström E., Johansson M., Hult A.** Hard and flexible nanocomposite coatings using nanoclay-filled hyperbranched polymers. *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 2010. V. 2. N 6. P. 1679–1684. DOI: 10.1021/am1001986.
13. **Verma G., Kaushik A., Ghosh A.K.** Comparative assessment of nano-morphology and properties of spray coated clear polyurethane coatings reinforced with different organoclays. *Prog. Org. Coat.* 2013. V. 76. N 7. P. 1046–1056. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2013.02.018.

REFERENCES

1. **Williams P.A.** Handbook of Industrial Water Soluble Polymers. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd. 2007. 344 p.
2. **Freitag W., Stoye D.** Paints, coatings and solvents. Weinheim, New York, Basel, Cambridge, Tokyo: Wiley-VCH. 1998. 414 p.
3. **Peruzzo P.J., Bonnefond A., Reyes Y., Fernández M., Fare J., Ronne E., Paulis M., Leiza J.R.** Beneficial in-situ incorporation of nanoclay to waterborne PVAc/PVOH dispersion adhesives for wood applications. *Int. J. Adhes. Adhes.* 2014. V. 48. P. 295–302. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2013.09.042.
4. **Kaboorani A., Riedl B.** Effects of adding nano-clay on performance of polyvinyl acetate (PVA) as a wood adhesive. *Composites Part A.* 2011. V. 42(8). P. 1031–1039. DOI: 10.1016/j.compositesa.2011.04.007
5. **Gerasin V.A., Antipov E.M., Karbushev V.V., Kulichikhin V.G., Karpacheva G.P., Talroze R.V., Kudryavtsev Y.V.** New approaches to the development of hybrid nanocomposites: from structural materials to high-tech applications. *Russ. Chem. Rev.* 2013. V. 82. N 4. P. 303–332. DOI: 10.1070/RC2013v082n04ABEH004322.
6. **Bergaya F., Theng B.K.G., Lagaly G.** Handbook of clay science: Developments in clay science. V. 1. Amsterdam, Netherlands: Elsevier. 2006. 1246 p.
7. **Bitinis N., Hernández M., Verdejo R., Kenny J.M., Lopez-Manchado M.A.** Recent advances in clay/polymer nanocomposites. *Adv. Mater.* 2011. V. 23. N 44. P. 5229–5236. DOI: 10.1002/adma.201101948.
8. **Tan B., Thomas N.L.** A review of the water barrier properties of polymer/clay and polymer/graphene nanocomposites. *J. Membr. Sci.* 2016. V. 514. P. 595–612. DOI: 10.1016/j.memsci.2016.05.026.
9. **Ilyin S.O., Brantseva T.V., Gorbunova I.Y., Antonov S.V., Korolev Y.M., Kerber M.L.** Epoxy reinforcement with silicate particles: Rheological and adhesive properties—Part I: Characterization of composites with natural and organically modified montmorillonites. *Int. J. Adhes. Adhes.* 2011. V. 61. P. 127–136. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2015.05.008.
10. **Brantseva T., Antonov S., Kostyuk A., Ignatenko V., Smirnova N, Korolev Y., Tereshin A., Ilyin S.** Rheological and adhesive properties of PIB-based pressure-sensitive adhesives with montmorillonite-type nanofillers. *Eur. Polym. J.* 2016. V. 76. P. 228–244. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2016.01.040.
11. **Kurenkov V.V., Gerasin V.A., Korolev Yu.M., Piryazev A.A., Mendeleev D.I., Dyachuk S.V.** Polyethylene-aluminosilicate nanocomposites for pipeline protection coatings. *Plastich. Massy.* 2015. N 7–8. P. 53–60 (in Russian).
12. **Fogelström L., Malmström E., Johansson M., Hult A.** Hard and flexible nanocomposite coatings using nanoclay-filled hyperbranched polymers. *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 2010. V. 2. N 6. P. 1679–1684. DOI: 10.1021/am1001986.
13. **Verma G., Kaushik A., Ghosh A.K.** Comparative assessment of nano-morphology and properties of spray coated clear polyurethane coatings reinforced with different organoclays. *Prog. Org. Coat.* 2013. V. 76. N 7. P. 1046–1056. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2013.02.018.

14. **Azeez A.A., Rhee K.Y., Park S.J., Hui D.** Epoxy clay nanocomposites—processing, properties and applications: A review. *Composites Part B*. 2013. V. 45. N 1. P. 308–320. DOI: j.compositesb.2012.04.012.
15. **Moya R., Rodríguez-Zúñiga A., Vega-Baudrit J., Álvarez V.** Effects of adding nano-clay (montmorillonite) on performance of polyvinyl acetate (PVAc) and urea-formaldehyde (UF) adhesives in *Carapa guianensis*, a tropical species. *Int. J. Adhes. Adhes.* 2015. V. 59. P. 62–70. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2015.02.004.
16. **Gerasin V.A., Kurenkov V.V., Pashkov O.V., Piyin S.O.** Structure and rheology of aqueous poly (vinyl acetate) dispersions modified with montmorillonite. *Colloid. J.* 2017. V. 79. N 5. P. 588–595. DOI: 10.1134/S1061933X17050064.
17. **Герасин В.А., Куренков В.В.** Совместная обработка бентонитов неорганическими полиэлектролитами и катионными ПАВ для облегчения эксфолиации органоглин. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 5. С. 71–77. DOI: 10.6060/ivkkt.20196205.5746.
18. **Lipatov Y.S.** Polymer reinforcement. Toronto, Canada: ChemTech Publishing. 1995. 406 p.
19. **Choudalakis G., Gotsis A.D.** Permeability of polymer/clay nanocomposites: a review. *Eur. Polym. J.* 2009. V. 45. N 4. P. 967–984. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2009.01.027.
20. **Bagherzadeh M.R., Mahdavi F.** Preparation of epoxy–clay nanocomposite and investigation on its anti-corrosive behavior in epoxy coating. *Prog. Org. Coat.* 2007. V. 60. N 2. P. 117–120. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2007.07.011.
21. **Heidarian M., Shishesaz M.R.** Study on effect of duration of the ultrasonication process on solvent-free polyurethane/organo clay nanocomposite coatings: Structural characteristics and barrier performance analysis. *J. Appl. Polym. Sci.* 2012. V. 126. N 6. P. 2035–2048. DOI: 10.1002/app.34077.

Поступила в редакцию 17.08.2018
Принята к опубликованию 05.04.2019

Received 17.08.2018
Accepted 05.04.2019