

Оригинальная статья / Original article

УДК 678.743.22

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-3-529-535>



ИК-спектроскопия и рентгенография промышленного суспензионного поливинилхлорида

© В.В. Баяндин, Н.С. Шаглаева, Т.А. Подгорбунская, Н.Д. Лукьянов, Н.В. Минаев, С.С. Макаров

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Российская Федерация

Резюме: Объемы мирового производства поливинилхлорида уступают только полиолефинам. Поливинилхлорид может перерабатываться почти всеми известными методами. Он обладает высокой прочностью, хорошими изоляционными свойствами, устойчив к кислотам, окислителям и растворителям. В то же время он имеет очень высокую вязкость расплава и недостаточно устойчив при температурах переработки в изделия: выделяющийся при его нагревании хлористый водород катализирует дальнейший процесс разложения полимера. Поскольку температура размягчения поливинилхлорида оказывается выше температуры его разложения, он не может перерабатываться в чистом виде. Все материалы на его основе являются композиционными. Варьируя состав композиций, можно получать пластические массы как очень мягкие (пластикаты), так и жесткие (винилпласты). Свойства полимерных изделий на основе поливинилхлорида во многом будут определяться структурой и морфологией полимера. Авторами настоящей работы впервые подробно исследованы свойства промышленного суспензионного поливинилхлорида (АО «Саянскхимпласт», Иркутская область). Молекулярная масса полимера, определенная вискозиметрическим методом, составляет $1,0 \cdot 10^6$. Начало потери массы поливинилхлорида при проведении термогравиметрического анализа наблюдалось при температуре 160 °С. Осуществлена полная расшифровка ИК-спектра полимера и установлено, что исследуемый поливинилхлорид не содержит посторонних веществ в полимере (примеси стабилизаторов, эмульгаторов и присадок). Дифракционная кривая полимера качественно аналогична дифракционным кривым частично кристаллических полимеров и содержит два аморфных гало при углах рассеяния $24^\circ 30'$ и $39^\circ 30'$ и группу кристаллических пиков над ними. Также определена степень кристалличности поливинилхлорида и предложены механизмы образования его регулярного и нерегулярного строения.

Ключевые слова: суспензионный промышленный поливинилхлорид, молекулярная масса, инфракрасная спектроскопия, дифракционная кривая

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-08-00342).

Информация о статье: Дата поступления 27 ноября 2019 г.; дата принятия к печати 31 августа 2020 г.; дата онлайн-размещения 30 сентября 2020 г.

Для цитирования: Баяндин В.В., Шаглаева Н.С., Подгорбунская Т.А., Лукьянов Н.Д., Минаев Н.В., Макаров С.С. ИК-спектроскопия и рентгенография промышленного суспензионного поливинилхлорида. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10. N 3. С. 529–535. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-3-529-535>

IR spectroscopy and X-ray diffraction analysis of industrial polyvinyl chloride suspension

Victor V. Bayandin, Nina S. Shaglaeva, Tatiana A. Podgorbunskaya,
Nikita D. Lukyanov, Nikolai V. Minaev, Svyatoslav S. Makarov

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract: In terms of the contemporary plastic industry, world production of polyvinyl chloride is second only to polyolefins. Recyclable by almost all known methods, polyvinyl chloride offers high strength, good insulating properties, as well as resistance to acids, oxidising agents and solvents. At the same time, the ability to process polyvinyl chloride into products is limited by its lack of stability at high melt viscosity temperatures, since hydrogen chloride released during its heating catalyses further process of polymer decomposition. Thus, due to the softening temperature of polyvinyl chloride being higher than its decomposition temperature, it cannot be processed in its pure form. Consequently, functional polyvinyl chloride-based materials

tend to be composites. By varying the composition of mixtures, plastic masses characterised by either very soft (plastic compounds) or hard (vinyl plastics) structures can be obtained. The properties of polyvinyl chloride-based polymer products are largely determined by the structure and morphology of the polymer. In the present work, the properties of industrial suspension polyvinyl chloride (Sayanskkhimplast JSC, Irkutsk Oblast) were studied in detail for the first time. The molecular weight of the polymer determined by the viscometric method was 1.0·10⁶. Thermogravimetric analysis showed that polyvinyl chloride mass loss started to occur at 160 °C. Following the complete IR band assignment of the polymer, the polyvinyl chloride under study was established to contain no foreign substances (impurities of stabilisers, emulsifiers and additives). The diffraction curve of the polymer was established to be qualitatively similar to equivalent partially crystalline polymers. Two amorphous halos were detected at 2θ of 24° 30' and 39° 30' below a group of crystalline peaks. The crystallinity degree of polyvinyl chloride was determined and mechanisms for the formation of its regular and irregular structure were proposed.

Keywords: suspension industrial polyvinyl chloride, molecular weight, infrared spectroscopy, diffraction curve

Acknowledgment: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (no. 19-08-00342).

Information about the article: Received November 27, 2019; accepted for publication August 31, 2020; available online September 30, 2020.

For citation: Bayandin VV, Shaglaeva NS, Podgorbunskaya TA, Lukyanov ND, Minaev NV, Makarov CC. IR spectroscopy and X-ray diffraction analysis of industrial polyvinyl chloride suspension. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2020;10(3):529–535. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-3-529-535>

ВВЕДЕНИЕ

Мировой рынок поливинилхлорида (ПВХ) является одним из наиболее динамично развивающихся рынков полимеров. По данным компании «Hartman», мировые мощности по производству ПВХ с 2000 по 2006 г. выросли с 30 до 40 млн т/год соответственно, в 2007 г. они составили более 45 млн т, а к 2010 г. их рост прогнозировался (до кризиса 2008 г.) до 60 млн т. ПВХ в России является дефицитным продуктом. Так, в 2013 г. его производство составило лишь 604 тыс. т, тогда как потребление – 967 тыс. т [1, 2].

Полимер выпускается в двух основных видах в зависимости от особенностей производства и рынков потребления: суспензионный (ПВХ-с) и эмульсионный (ПВХ-э).

Основными сферами применения ПВХ является изготовление оконных профилей, погонажных изделий, пленок, труб, фитингов, различных покрытий, медицинских инструментов и других изделий [2–5]. Основной и серьезный недостаток полимера – невозможность переработки ПВХ в чистом виде, так как температура переработки находится выше температуры его разложения [6–8]. Это вынуждает вводить в ПВХ стабилизаторы (термостабилизаторы), пластификаторы, модификаторы, промолотые плавители, смазки, наполнители [9–12]. Характеристики исходного ПВХ (молекулярная масса, строение полимерной цепи, температура разложения, степень кристалличности полимера и др.) в значительной мере определяют поведение полимера при его переработке и влияют на свойства готового изделия.

Целью данной работы являлось исследование свойств промышленного суспензионного

ПВХ производства АО «Саянскхимпласт» (Иркутская область).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ПВХ — промышленный суспензионный полимер. Характеристическую вязкость $[\eta]$ ПВХ раствора измеряли в циклогексаноне с использованием вискозиметра Убеллоде при 25 °C. Значение характеристической вязкости $[\eta]$ для исследуемого ПВХ составило 1,1 дл·г⁻¹. Молекулярную массу ПВХ ($1,0 \cdot 10^6$) вычисляли, подставляя полученные значения $[\eta]$, K и α в уравнение Марка – Куна – Хаувинка:

$$[\eta] = K \cdot M^\alpha,$$

где K и α – константы для данной системы полимер – растворитель при температуре 25 °C, их значения ($2,4 \cdot 10^{-5}$ и 0,77 соответственно) взяты из работы [13].

Элементный анализ продуктов реакции проводили на газоанализаторе фирмы «Thermo Finnigan». Найдено, %: C – 38,2; H – 4,8; Cl – 57,0. Вычислено, %: C – 38,4; H – 4,8; Cl – 56,8.

Кривые термогравиметрического анализа образцов снимали на дериватографе Q-1500 (МОН, Венгрия), максимальная температура – 850 °C, скорость нагрева на воздухе – 10 °C мин⁻¹.

ИК-спектры сополимеров получены на спектрометрах Specord IR-75 и Bruker IFS-25 в таблетках KBr и в вазелиновом масле.

Дифракционные кривые сняты на установке XRD-7000 фирмы Shimadzu (Япония) в области углов рассеяния $2\theta = 0-70$ °C. Фокусировка проводилась по Брэггу – Брентано [14].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Суспензионный промышленный ПВХ производства АО «Саянскимпласт» представляет собой твердый продукт белого цвета, хорошо растворимый в трихлорбензоле, дихлорэтано, диметилформамиде, диметилсульфоксиде и циклогексаноне.

Начальная температура разложения ПВХ – 160 °С, при 250 °С потеря массы полимера составляет 50%, а при температуре 300 °С указанная величина увеличивается до ~85% (рис. 1).

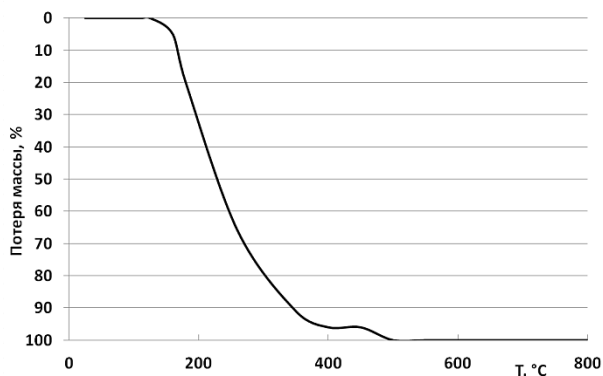


Рис. 1. Кривая потери массы суспензионного поливинилхлорида

Fig. 1. Mass loss curve of suspension polyvinyl chloride

Полная расшифровка ИК-спектра полимера (рис. 2) проведена на основании анализа литературных данных [15–17]. Характеристические полосы ПВХ приведены в таблице.

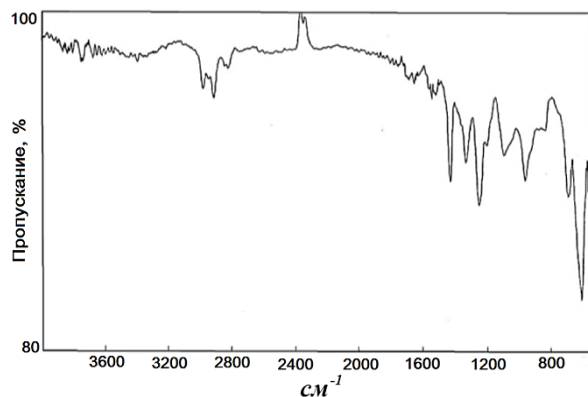


Рис. 2. ИК-спектр суспензионного поливинилхлорида

Fig. 2. IR spectrum of suspension polyvinyl chloride

Следует отметить присутствие триплета в области с частотами 2973, 2939 и 2906 cm^{-1} , который относится к остаточным алифатическим CH_2 - и CH -группам ПВХ и полос поглощения валентных колебаний связи C-Cl , регистрируемые при 611 и 678 cm^{-1} .

На основании анализа ИК-спектра можно сделать заключение, что исследуемый ПВХ не содержит посторонних веществ в полимере

(примеси стабилизаторов, эмульгаторов и присадок).

Полосы поглощения в ИК-спектре суспензионного поливинилхлорида

Absorption bands in the IR spectrum of suspension polyvinyl chloride

Волновое число (измеренное), cm^{-1}	Колебание и тип симметрии
2973	$\nu(\text{CH})$, A_1 , B_1
2939	$\nu_a(\text{CH}_2)$, B_1
2907	$\nu_s(\text{CH}_2)$, A_1
2838	$\nu_s(\text{CH}_2)$, A_1
2821	$\nu_s(\text{CH}_2)$, A_1
1430	$\delta(\text{CH}_2)$, A_1
1332	$\gamma_t(\text{CH}_2) + \delta(\text{CH})$, A_1
1248	$\delta(\text{CH})$
1093	$\gamma_w(\text{CH})$
960	$\gamma_r(\text{CH}_2)$, B_1
836	$\gamma_r(\text{CH}_2)$, B_2
691	$\nu(\text{CCl})$
611	$\nu(\text{CCl})$
559	$\nu(\text{CCl})$

Дифракционная кривая ПВХ, $I_1(\theta)$ (рис. 3, кривая 1) построена путем сплайновой интерполяции по экспериментальным данным в программе MathCad. Дифракционная кривая ПВХ имеет четыре аморфных гало при углах рассеяния $19^\circ 10'$, 24° , $35^\circ 40'$ и $40^\circ 2\theta$ и группу кристаллических пиков над ними. Точки кривой при углах 12, 20,4, 30-34, 36,7, $49^\circ 2\theta$ принимаются за точки аморфного гало. По данным точкам аналогично, методом сплайновой интерполяции, строится кривая $I_2(\theta)$ (рис. 3, кривая 2). Точки полученной дифрактограммы при 12 и $49^\circ 2\theta$ соединяются прямой линией, служащей основанием аморфного гало (рис. 3, кривая 3). Уравнение этой линии можно выразить следующим равенством:

$$I_3(\theta) = 117,811 - 0,568 \cdot \theta.$$

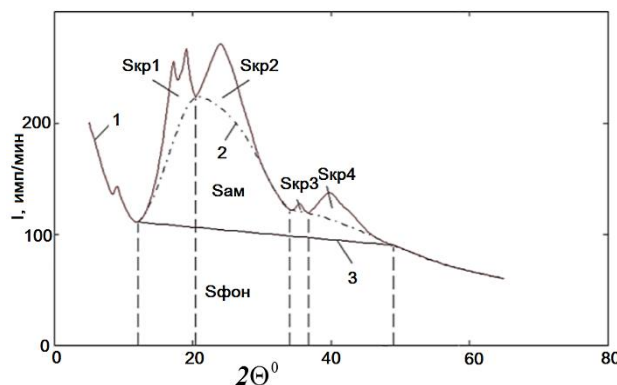


Рис. 3. Дифрактограмма суспензионного поливинилхлорида

Fig. 3. Diffraction pattern of suspension polyvinyl chloride

Для определения степени кристалличности полимера необходимо определить площади кристаллических рефлексов (Skp1-Skp4), заключен-

ных между линией дифрактограммы (см. рис. 3, кривая 1) и верхней границей гало (см. рис. 3, кривая 2), а также площадь аморфной составляющей $S_{ам}$, заключенной между верхней границей гало и основанием (см. рис. 3, кривая 3). Поскольку кривые 1 и 2 имеют математическое описание в виде интерполяционной функции, а кривая 3 – в виде линейной функции, то их можно интегрировать на любых заданных интервалах в рамках исследованного диапазона, используя программу MathCad.

Таким образом, площади кристаллических рефлексов равны:

$$S_{кр1} = \int_{12}^{20,4} I_1(\theta) - \int_{12}^{20,4} I_2(\theta) = \\ = 1623,5 - 1403,9 = 219,6;$$

$$S_{кр2} = \int_{20,4}^{34} I_1(\theta) - \int_{20,4}^{34} I_2(\theta) = \\ = 2768,8 - 2498,5 = 270,3;$$

$$S_{кр3} = \int_{34}^{36,7} I_1(\theta) - \int_{34}^{36,7} I_2(\theta) = \\ = 333,3 - 300,6 = 32,7;$$

$$S_{кр4} = \int_{36,7}^{49} I_1(\theta) - \int_{36,7}^{49} I_2(\theta) = \\ = 1413,2 - 1301,8 = 111,4;$$

$$S_{кр} = S_{кр1} + S_{кр2} + S_{кр3} + S_{кр4} = \\ = 219,6 + 270,3 + 32,7 + 111,4 = \\ = 634,0.$$

Далее определили площадь аморфной составляющей:

$$S_{ам} = \int_{12}^{49} I_2(\theta) - \int_{12}^{49} I_3(\theta) = \\ = 5504,8 - 3718,5 = 1786,3.$$

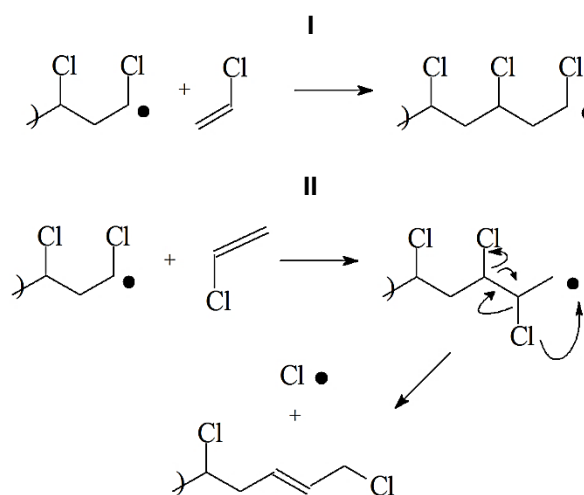
Определение степени кристалличности ПВХ проводили на основе закона сохранения интегральной интенсивности рассеяния и различного рода допущениях при разделении на «кристаллические» ($S_{кр}$) и «аморфные» ($S_{ам}$) составляющие [18]. Поэтому степень кристалличности рассчитывается по формуле:

$$X = S_{кр}/(S_{кр} + S_{ам}) = 634 / (634 + 1786,3) = \\ = 0,2619 \text{ или } 26,19\%.$$

Обнаруженные рефлексы на рентгенограммах можно объяснить наличием синдиотактических участков в полимерной цепи. Известно, что

кристаллический ПВХ обладает повышенной степенью синдиотактичности, о чем свидетельствует наличие интенсивной полосы в области 611 см^{-1} и слабой полосы при 691 см^{-1} [19], причем кристаллизироваться могут те макромолекулы ПВХ, в которых имеются синдиотактические участки, содержащие не менее 12 мономерных звеньев [18, 20].

При радикальной суспензионной полимеризации ПВХ в промышленности возможны два маршрута образования последовательностей мономерных звеньев винилхлорида: «голова к голове» (I) и «голова к хвосту» (II):



Первый путь способствует получению ПВХ с достаточно длинными отрезками цепей, имеющих регулярное строение, а второй – получению нерегулярного полимера, который в процессе переработки может подвергаться дегидрохлорированию. Поскольку в исследуемом промышленном ПВХ наблюдается устойчивое существование аморфной и кристаллической фаз, то процесс образования полимера осуществляется по двум маршрутам. Существование аморфной и кристаллической фаз в исследуемом промышленном ПВХ можно объяснить тем, что процесс образования полимера осуществляется по двум маршрутам.

ВЫВОДЫ

Впервые определена степень кристалличности суспензионного ПВХ производства АО «Саянскимпласт» методом рентгенографии.

Предложен новый способ построения рентгеновской дифракционной кривой путем сплайновой интерполяции по экспериментальным данным в программе MathCad.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Braun D. Poly(vinyl chloride) on the way from the 19th century to the 21st century // Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry. 2004. Vol. 42. Issue 3. P. 578–586. <https://doi.org/10.1002/pola.10906>
2. Киячков А.А. Производство ПВХ в России:

состояние и перспективы // Пластикс. 2014. N 5 (134). С. 42–47.

3. Wypych G. *PVC Degradation and Stabilisation*. 3rd Edition. Toronto: ChemTec Publishing, 2015. 441 p.

4. Шаглаева Н.С., Султангареев Р.Г., Орхочева Е.А., Прозорова Г.Ф., Дмитриева Г.В., Дамбинова А.С. [и др.]. Протонпроводящие мембраны на основе модифицированного поливинилхлорида // Мембраны и мембранные технологии. 2011. Т. 1. N 3. С. 213–219. <https://doi.org/10.1134/S0965544111080093>

5. Choi J.K., Kim Y.W., Koh J.H., Kim J.H. Proton conducting membranes based on poly(vinyl chloride) graft copolymer electrolytes // *Polymers for Advanced Technologies*. 2008. Vol. 19. Issue 7. P. 915–921. <https://doi.org/10.1002/pat1060>

6. Krongauz V.V., Lee Y., Bourassa A. Kinetics of thermal degradation of poly(vinyl chloride) // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2011. Vol. 106. P. 139–149. <https://doi.org/10.1007/s10973-011-1703-6>

7. Liu J., Lv Y., Luo Z., Wang H., Wei Z. Molecular chain model construction, thermo-stability, and thermo-oxidative degradation mechanism of poly(vinyl chloride) // *Royal Society of Chemistry Advances*. 2016. Vol. 6. Issue 39. P. 31898–31905. <https://doi.org/10.1039/C6RA02354A>

8. Шаглаева Н.С., Султангареев Р.Г., Забакина Е.А., Лебедева О.В., Трофимова К.С. Нуклеофильное замещение атомов хлора в поливинилхлориде // *Журнал прикладной химии*. 2008. Т. 81. Вып. 1. С. 136–139. <https://doi.org/10.1007/s11167-008-1029-8>

9. Szarka G., Iván B. Thermal properties, degradation and stability of poly(vinyl chloride) predegraded thermooxidatively in the presence of dioctyl phthalate plasticizer // *Journal of Macromolecular Science: Part A: Pure and Applied Chemistry*. 2013. Vol. 50. Issue 2. P. 208–214. <https://doi.org/10.1080/10601325.2013.742804>

10. Лакеев С.Н., Майданова И.О., Муллахметов Р.Ф., Давыдова О.В. Сложноэфирные пластификаторы поливинилхлорида (обзор) // *Журнал прикладной химии*. 2016. Т. 89. N 1. С. 3–18.

11. Navarro R., Perrino M.P., Tardaios M.G., Reinecke H. Phthalate Plasticizers Covalently Bound to PVC: Plasticization with Suppressed Migration // *Macromolecules*. 2010. Vol. 43. P. 2377–2381. <https://doi.org/10.1021/ma902740t>

12. McCoy C.P., Irwin N.J., Hardy J.G., Kennedy S.J., Donnelly L., Cowley J.F., et al. Systematic optimization of poly(vinyl chloride) surface modification with an aromatic thiol // *European Polymer Journal*. 2017. Vol. 97. P. 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.09.030>

13. Рафиков С.Р., Павлова С.А., Твердохлебова И.И. Методы определения молекулярных весов и полидисперсности высокомолекулярных соединений. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 335 с.

14. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М.: Техносфера, 2004. 384 с.

15. Goldstein M., Stephenson D., Maddams W.F. The far infra-red spectrum of poly(vinyl chloride) // *Polymer*. 1983. Vol. 24. Issue 7. P. 823–826. [https://doi.org/10.1016/0032-3861\(83\)90197-0](https://doi.org/10.1016/0032-3861(83)90197-0)

16. Kowalonek J. Surface studies of UV-irradiated poly(vinyl chloride)/poly(methyl methacrylate) blends // *Polymer Degradation and Stability*. 2016. Vol. 133. P. 367–377. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.09.016>

17. Moore W.H., Krimm S. The vibrational spectrum of crystalline syndiotactic. Poly(vinyl chloride) // *Macromolecular Chemistry and Physics*. 1975. Vol. 1. Issue S19751 P. 491–506. <https://doi.org/10.1002/macp.1975.020011975134>

18. Лебедев В.П., Окладнов Н.А., Минскер К.С., Штаркман Б.Н. Рентгенографическое исследование поливинилхлорида // *Высокомолекулярные соединения*. 1965. Т. 7. N 4. С. 655–670.

19. Получение и свойства поливинилхлорида / под ред. Е.Н. Зильбермана. М.: Химия, 1968. 432 с.

20. Глазковский Ю.В., Завьялов А.Н., Бакарджиев Н.М., Новак И.И. Исследование методом ИК-спектроскопии изменения упорядоченности структуры аморфизованного поливинилхлорида // *Высокомолекулярные соединения*. 1970. Т. XII (A). N 12. С. 2697–2701.

REFERENCES

1. Braun D. Poly(vinyl chloride) on the way from the 19th century to the 21st century. *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry*. 2004;42(3):578–586. <https://doi.org/10.1002/pola.10906>

2. Kilyachkov A.A. PVC production in Russia: condition and prospects. *Plastiks*. 2014;5:42–47. (In Russian)

3. Wypych G. *PVC Degradation and Stabilisation*. 3rd Ed. Toronto: ChemTec Publishing, 2015. 441 p.

4. Shaglaeva N.S., Sultangareev R.G., Orhokova E.A., Prozorova G.F., Dmitrieva G.V., Dambinova A.S.,

et al. Proton Conductive Membranes Based on Modified Polyvinyl Chloride. *Membrany i Membranye Tekhnologii = Membranes and Membrane Technologies*. 2011;1(3):213–219. (In Russian) <https://doi.org/10.1134/S0965544111080093>

5. Choi J.K., Kim Y.W., Koh J.H., Kim J.H. Proton conducting membranes based on poly(vinyl chloride) graft copolymer electrolytes. *Polymers for Advanced Technologies*. 2008;19(7):915–921. <https://doi.org/10.1002/pat1060>

6. Krongauz V.V., Lee Y., Bourassa A. Kinetics of thermal degradation of poly(vinyl chloride). *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*.

2011;106:139–149. <https://doi.org/10.1007/s10973-011-1703-6>

7. Liu J, Lv Y, Luo Z, Wang H, Wei Z. Molecular chain model construction, thermo-stability, and thermo-oxidative degradation mechanism of poly(vinyl chloride). *Royal Society of Chemistry Advances*. 2016;6(38):31898–31905. <https://doi.org/10.1039/C6RA02354A>

8. Shaglaeva NS, Sultangareev RG, Zabanova EA, Lebedeva OV, Trofimova KS. Nucleophilic substitution of chlorine atoms in polyvinyl chloride. *Zhurnal prikladnoi khimii = Russian Journal of Applied Chemistry*. 2008;81:136–139. (In Russian)

9. Szarka G, Iván B. Thermal properties, degradation and stability of poly(vinyl chloride) predegraded thermooxidatively in the presence of dioctyl phthalate plasticizer. *Journal of Macromolecular Science: Part A: Pure and Applied Chemistry*. 2013;50(2):208–214. <https://doi.org/10.1080/10601325.2013.742804>

10. Lakeev SN, Maydanova IO, Mullakhmetov RF, Davydova OV. Ester plasticizers for polyvinyl chloride (review). *Zhurnal prikladnoi khimii = Russian Journal of Applied Chemistry*. 2016;89(1):3–18. (In Russian)

11. Navarro R, Perrino MP, Tardaios MG, Reinecke H. Phthalate Plasticizers Covalently Bound to PVC: Plasticization with Suppressed Migration. *Macromolecules*. 2010;43:2377–2381. <https://doi.org/10.1021/ma902740t>

12. McCoy CP, Irwin NJ, Hardy JG, Kennedy SJ, Donnelly L, Cowley JF, et al. Systematic optimization of poly(vinyl chloride) surface modification with an aromatic thiol. *European Polymer Journal*. 2017;97:40–48. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.09.030>

2017.09.030

13. Rafikov SR, Pavlova SA, Tverdokhlebova II. *Methods for determination of molecular weights and polydispersity of high-molecular compounds*. Moscow: Izdatel'stvo AN SSSR; 1973. 335 p. (In Russian)

14. Brandon D, Kaplan U. *Microstructure of materials. Research and control methods*. Moscow: Tekhnosfera; 2004. 384 p. (In Russian)

15. Goldstein M, Stephenson D, Maddams WF. The far infra-red spectrum of poly(vinyl chloride). *Polymer*. 1983;24(7):823–826. [https://doi.org/10.1016/0032-3861\(83\)90197-0](https://doi.org/10.1016/0032-3861(83)90197-0)

16. Kowalonek J. Surface studies of UV-irradiated poly(vinyl chloride)/poly(methyl methacrylate) blends. *Polymer Degradation and Stability*. 2016;133:367–377. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.09.016>

17. Moore WH, Krimm S. The vibrational spectrum of crystalline syndiotactic. Poly(vinyl chloride). *Macromolecular Chemistry and Physics*. 1975;1(S19751):491–506. <https://doi.org/10.1002/macp.1975.020011975134>

18. Lebedev VP, Okladnov NA, Minsker KS, Shtarkman BN. X-ray study of polyvinylchloride. *Vysokomolekulyarnye soedineniya*. 1965;7(4):655–670. (In Russian)

19. *Production and properties of polyvinyl chloride*. Ed.: E.N. Zil'berman. Moscow: Khimiya; 1968. 432 p. (In Russian)

20. Glazkovskii YuV, Zav'yalov AN, Bakarzhiev NM, Novak II. Changes in amorphized polyvinylchloride structure as studied by IR-spectroscopy. *Vysokomolekulyarnye soedineniya*. 1970;XII(12):2697–2701. (In Russian)

Критерии авторства

Баяндин В.В., Шаглаева Н.С., Подгорбунская Т.А., Лукьянов Н.Д., Минаев Н.В., Макаров С.С. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Авторы имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Баяндин Виктор Владимирович,
к.х.н., доцент кафедры химической технологии,
Иркутский национальный исследовательский

Contribution

Victor V. Bayandin, Nina S. Shaglaeva, Tatiana A. Podgorbunskaya, Nikita D. Lukyanov, Nikolai V. Minaev, Svyatoslav S. Makarov carried out the experimental work, analyzed the experimental results and prepared the text of the manuscript. All authors have equal author's right and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Victor V. Bayandin,
Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Chemical Technology Department,

технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
e-mail: bayandinvv@yandex.ru

Шаглаева Нина Савельевна,
д.х.н., профессор кафедры химической
технологии,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
✉ e-mail: ShaglaevaNS@yandex.ru

Подгорбунская Татьяна Анатольевна,
к.х.н., доцент кафедры химической технологии,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
e-mail: tpodgor@istu.edu

Лукьянов Никита Дмитриевич,
к.т.н., доцент кафедры автоматизированных
систем,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
e-mail: lukyanovnd@istu.edu

Минаев Николай Владимирович,
инженер,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
e-mail: minaev@istu.edu

Макаров Святослав Станиславович,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Российская Федерация,
e-mail: makarov@istu.edu

Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,
Russian Federation,
e-mail: bayandinvv@yandex.ru

Nina S. Shaglaeva,
Dr. Sci. (Chemistry), Professor,
Chemical Technology Department,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,
Russian Federation,
✉ e-mail: ShaglaevaNS@yandex.ru

Tatiana A. Podgorbunskaya,
Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Chemical Technology Department,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,
Russian Federation,
e-mail: tpodgor@istu.edu

Nikita D. Lukyanov,
Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Department of Automated Systems,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russian Federation,
e-mail: lukyanovnd@istu.edu

Nikolai V. Minaev,
Engineer,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russian Federation,
e-mail: minaev@istu.edu

Svyatoslav S. Makarov,
Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,
Russian Federation,
e-mail: makarov@istu.edu