

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАСТИФИКАТОРА ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В РЕЦЕПТУРАХ КАБЕЛЬНОГО ПЛАСТИКА

Р.Н. Плотникова, Л.В. Попова

Раиса Николаевна Плотникова (ORCID 0000-0001-9559-4443), Любовь Васильевна Попова (ORCID 0000-0002-9648-7620) \*

Кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, Воронеж, Российской Федерации, 394036  
E-mail: raya.plotnikova.57@mail.ru, luba030883@yandex.ru\*

*Показана значимость комплексного исследования физико-механических, технологических и эксплуатационных показателей при оценке возможности использования бромсодержащего пластификатора, полученного из отходов нефтехимии, для производства кабельного пластика. Отмечено, что в рецептурах на основе поливинилхлорида используют пластификаторы-антипирены фталатного и фосфатного типов, способные придавать изделиям высокие эксплуатационные и огнезащитные свойства, а также поддерживать на необходимом уровне технологические показатели при изготовлении изделий. Показано, что изучение пожаровзрывобезопасных свойства поливинилхлоридных композиций, наполненных бромсодержащими антипиренами, в том числе разработка огнезащитных составов на основе отходов химической промышленности особенно важны при использовании кабельного пластика для изоляции кабелей, эксплуатируемых при соблюдении особых требований по пожаровзрывобезопасности и низкой токсичности продуктов пиролиза при тлении, дымообразовании и горении. Установлена необходимость разработки рецептур с оптимальной дозировкой пластификатора – замедлителя горения с небольшим выделением токсичных продуктов горения. Установлено, что пластифицированные марки поливинилхлорида, содержащие обычные горючие органические пластификаторы, уступают по горючести жесткому поливинилхлориду и имеют низкий кислородный индекс в пределах 20–24%. Исследована возможность частичной замены одного из основных пластификаторов, используемых в рецептурах поливинилхлоридных пластиков, диоктилфталата. Показано, что добавление в поливинилхлоридный пластик инертного минерального наполнителя снижает прочность при разрыве и температуру хрупкости полимерной композиции. Доказано, что замена в рецептуре кабельного пластика стандартного пластификатора диоктилфталата бромированным пластификатором из отходов производства повышает кислородный индекс, оставляя на заданном уровне показатели по температуре хрупкости, прочности при разрыве и относительного удлинения. Установлено, что в рецептурах кабельного пластика, модифицированного бромсодержащим пластификатором из отходов производства, без наполнителя и стабилизатора, наблюдается увеличение прочности при разрыве в пределах 25 – 45% по сравнению с аналогом, пластифицированным диоктилфталатом. Подтверждена роль процессов дегидрохлорирования поливинилхлорида и разложения бромсодержащего пластификатора с выделением бромистого водорода в упрочнении полимерной композиции. При этом в результате вторичной реакции перестройки блоков сопряженных связей и возникновению дополнительных блоков сопряженных связей происходит некаталитическая шивка макромолекул полимерной композиции. Установлено, что использование бромированного пластификатора, полученного из отходов нефтехимических производств, в качестве пластификатора-антипирена в композициях на основе поливинилхлорида для кабельного пластика возможно с учетом допустимых дозировок и в сочетании со стандартным пластификатором поливинилхлорида.*

**Ключевые слова:** отходы производства, пластификатор, кабельный пластик, антипирен

## STUDY OF PLASTICIZER FROM PRODUCTION WASTE IN CABLE PLASTIC

R.N. Plotnikova, L.V. Popova

Raisa N. Plotnikova (ORCID 0000-0001-9559-4443), Lyubov V. Popova (ORCID 0000-0002-9648-7620) \*  
 Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolyutsii ave., 19, Voronezh, 394036, Russia  
 E-mail: raya.plotnikova.57@mail.ru, luba030883@yandex.ru\*

*The importance of a comprehensive study of physical, mechanical, technological and operational parameters is shown when assessing the possibility of using bromine-containing plasticizer obtained from petrochemical waste for the production of cable plastic. It is noted that in formulations based on polyvinyl chloride, plasticizers-flame retardants of the phthalate and phosphate types are used, which are capable of imparting high performance and fire-retardant properties to products, as well as maintaining technological indicators in the manufacture of products at the required level. It has been shown that the study of the fire and explosion-proof properties of polyvinyl chloride compositions filled with bromine-containing flame retardants, including the development of fire retardant compositions based on chemical industry waste, is especially important when using cable plastic for insulating cables operated in compliance with special requirements for fire and explosion safety and low toxicity of pyrolysis products during smoldering and smoke formation and burning. The need has been established to develop formulations with an optimal dosage of a plasticizer - a flame retardant with a small release of toxic combustion products. It has been established that plasticized varieties of polyvinyl chloride containing conventional flammable organic plasticizers are inferior in flammability to rigid polyvinyl chloride and have a low oxygen index in the range of 20–24%. The possibility of partial replacement of one of the main plasticizers used in the formulations of polyvinyl chloride plastics, dioctyl phthalate, was investigated. It has been shown that adding an inert mineral filler to polyvinyl chloride plastic compound reduces the tensile strength and brittleness temperature of the polymer composition. It has been proven that replacing the standard plasticizer dioctyl phthalate with a brominated plasticizer from production waste in the cable plastic compound recipe increases the oxygen index, leaving the brittleness temperature, tensile strength and relative elongation indicators at a given level. It has been established that in the formulations of cable plastic modified with bromine-containing plasticizer from production waste, without filler and stabilizer, there is an increase in tensile strength within the range of 25–45% compared to the analog plasticized with dioctyl phthalate. The role of the processes of dehydrochlorination of polyvinyl chloride and the decomposition of bromine-containing plasticizer with the release of hydrogen bromide in strengthening the polymer composition has been confirmed. In this case, as a result of the secondary reaction of rearrangement of blocks of conjugated bonds and the emergence of additional blocks of conjugated bonds, non-catalytic cross-linking of macromolecules of the polymer composition occurs. It has been established that the use of brominated plasticizer obtained from waste from petrochemical production, as a flame retardant plasticizer in compositions based on polyvinyl chloride for cable plastic is possible, taking into account acceptable dosages and in combination with a standard polyvinyl chloride plasticizer.*

**Key words:** waste production, plasticizer, cable plastic, flame retardant

**Для цитирования:**

Плотникова Р.Н., Попова Л.В. Исследование пластификатора из отходов производства в рецептурах кабельного пластика. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2024. Т. 67. Вып. 9. С. 76–81. DOI: 10.6060/ivkkt.20246709.7034.

**For citation:**

Plotnikova R.N., Popova L.V. Study of plasticizer from production waste in cable plastic. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2024. V. 67. N 9. P. 76–81. DOI: 10.6060/ivkkt.20246709.7034.

## ВВЕДЕНИЕ

Условия эксплуатации большинства изделий, изготовленных из полимерных материалов, требуют от них высокой температуро- и огнестойкости. Как правило, производители обеспечивают такие свойства за счет создания полимерных композиций с использованием минеральных, органических или комплексных добавок, обладающих как огнезащитными, так и другими модифицирующими свойствами [1]. В составе таких модификаторов встречаются наночастицы оксидов металлов [2], дисперсная медь с аскорбиновой кислотой [3], галогенсодержащие соединения [4-8]. В качестве подобных добавок часто применяются пластификаторы-антипирены.

Одним из самых распространенных полимерных материалов является поливинилхлорид, при этом около 50% поливинилхлорида в настоящее время используют в пластифицированном виде [9, 10].

В ряде рецептов на основе поливинилхлорида используют пластификаторы-антипирены фталатного и фосфатного типов, способные придавать изделиям высокие эксплуатационные и огнезащитные свойства, а также поддерживать на необходимом уровне технологические показатели при изготовлении изделий [11, 12].

Одним из основных пластификаторов, используемых в рецептурах ПВХ-пластиков, является диоктилфталат (ДОФ). Пластифицированные марки ПВХ, содержащие обычные горючие органические пластификаторы, в том числе ДОФ, уступают по горючести жесткому ПВХ и имеют кислородный индекс КИ = 20-24%. Один из широко используемых способов снижения горючести таких материалов – применение пластификаторов-антипиренов: галоген- или фосфорсодержащих веществ [13, 14]. Особое внимание уделяют разработке огнезащитных составов на основе отходов химической промышленности [15-18].

Разработаны полимерные композиты с полимерной фазой поливинилхлорида и отходами производства линолеума, стеблями подсолнечника [19, 20].

Использование кабельного пластиката для изоляции кабелей накладывает на него особые требования по пожаровзрывобезопасности и низкой токсичности продуктов пиролиза при тлении, дымообразовании и горении [21]. С этой целью разрабатываются рецептуры с оптимальной дозировкой пластификатора – замедлителя горения с небольшим выделением токсичных продуктов горения.

Кроме того, следует обращать внимание на его способность ингибировать процессы горения в газовой фазе.

Доказан синергетический эффект комплексного использования оксидов алюминия и магния по снижению скорости роста полиеновых последовательностей [22]. Сложные эфиры адипиновой кислоты, в том числе диизонониладипинат, а также полиизоцианат нашли применение как эффективные низкотемпературные пластификаторы для модификации кабельных поливинилхлоридных пластиков пониженной горючести [23, 24].

Увеличение стойкости к терморазложению наполненного ПВХ-пластиката может быть достигнуто путем введения в рецептуру продукта деструкции силоксановых резин [25].

Для снижения токсичности продуктов разложения ПВХ-пластиката с наполнителем карбонатом кальция нашли применение стабилизирующие композиции, включающие продукты термоаминолиза полиэтилентерефталата моноэтаноламином [26]. Особое внимание уделяется изучению пожаровзрывобезопасных свойства ПВХ-композиций, наполненных бромсодержащими антипиренами [27].

Цель исследования – оценка возможности использования бромсодержащего пластификатора, полученного из отходов нефтехимии, в рецептурах для производства кабельного пластиката.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Принятый к исследованию пластификатор является антипиреном аддитивного типа, использование которого, как правило, не зависит от производства полимеров. Такие пластификаторы-антипирены можно вводить в композиции на стадиях переработки полимеров в изделия без изменения технологии полимерных материалов. Однако они влияют на физико-механические свойства и огнестойкость ПВХ-пластикатов.

Исследования галогенсодержащего пластификатора из отходов нефтехимических производств (БДЭГФ – бромированный диэтилгексилфталат) проводились в модельных рецептурах кабельного пластика пониженной горючести в качестве частичной замены диоктилфталата. Для получения модельных образцов в ПВХ-композиции вводили бромированный фталатный пластификатор (БДЭГФ) следующего состава, масс. %: 2-этилгексил-2(3)этил-дибром-гексилфталат – 54,6; ди-2-этил-гексил-2-гексен-3-фталат – 4,8; ди-2-этил-гексил-2-гексен-2-фталат – 24,6; ди-2-этилгексилфталат – 16,0.

Рецептура модельных образцов кабельного пластиката на основе поливинилхлорида включала на 100 масс. ч. ПВХ: пластификатор ДОФ 20 – 50 масс. ч.; синергист-стабилизатор трехокись сурьмы 3 масс. ч.; инертный минеральный наполнитель 0 – 50 масс. ч.; бромсодержащий пластификатор из отходов производства БДЭГФ 0 – 30 масс. ч. Состав принятых к испытанию образцов приведен в табл. 1.

Таблица 1

Состав образцов для исследования, масс. ч.  
(на 100 масс. ч. поливинилхлорида)

Table 1. The composition of samples for research, wt. ch. (per 100 wt. part of polyvinylchloride)

| Наименование ингредиента | Номер образца |    |    |    |    |
|--------------------------|---------------|----|----|----|----|
|                          | 1             | 2  | 3  | 4  | 5  |
| ДОФ                      | 20            | 40 | 30 | 20 | 50 |
| БДЭГФ                    | 30            | 10 | 20 | 30 | -  |
| Наполнитель              | -             | 50 | 50 | 50 | -  |
| Стабилизатор             | 3             | 3  | 3  | 3  | 3  |

Модельные ПВХ-композиции готовили в лабораторном смесителе, последовательно загружая поливинилхлорид, стабилизатор при перемешивании и повышении температуры, затем при 70-75 °С пластификаторы и при 90-95 °С наполнитель. Смешение проводили при 155-160 °С. Охлажденную до 50 °С массу выгружали и обрабатывали на вальцах до получения пластин для вырубki образцов. Подготовку образцов и методики их исследований проводили в соответствии с ГОСТ 59707-2021 [28]. Для определения прочности при разрыве и относительного удлинения при разрыве вырубали по 5 двусторонних лопаток из каждого модельного образца ПВХ-пластиката длиной 75 мм и толщиной  $1,0 \pm 0,2$  мм; для определения кислородного индекса готовили по 10 образцов длиной  $130 \pm 0,5$  мм и шириной  $3,00 \pm 0,25$  мм. Каждое испытание проводили не менее трех раз, рассчитывая затем среднее арифметическое.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты испытаний образцов кабельного пластиката представлены в табл. 2.

Зависимость прочностных показателей модельных образцов без стабилизатора и минерального наполнителя от содержания исследуемого и стандартного пластификаторов представлена на рисунке.

На рисунке видно, что увеличение прочности при растяжении в пределах 25-45% наступает при введении до 33 масс. ч. пластификатора БДЭГФ. Максимум наблюдается при его введении в пределах 20 масс. ч.

Таблица 2

#### Результаты исследования образцов

Table 2. Sample test results

| Наименование ингредиента   | Номер образца |      |      |      |      |
|--|---------------|------|------|------|------|
|  | 1             | 2    | 3    | 4    | 5    |
| Удельное объемное сопротивление при 293 К, Ом·см·10 <sup>-13</sup> | 3,0           | 3,0  | 2,0  | 2,0  | 3,0  |
| Температура хрупкости, К   | 248           | 258  | 263  | 258  | 233  |
| Горючесть по методу КИ, %  | 27            | 30   | 31   | 33   | 27   |
| Прочность при разрыве, МПа   | 22,2          | 17,5 | 16,4 | 17,4 | 23,0 |
| Относительное удлинение при разрыве, %                             | 319           | 239  | 293  | 280  | 320  |

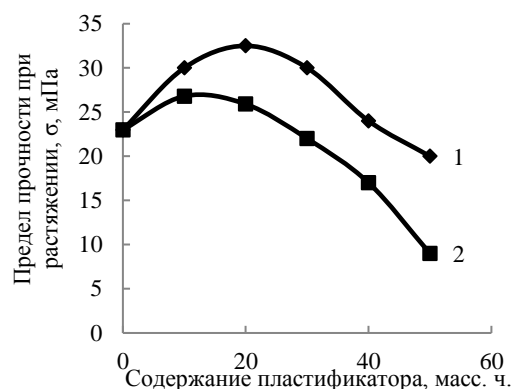


Рис. Зависимость прочности при разрыве от содержания пластификатора на 100 масс. ч.: 1 – БДЭГФ; 2 – ДОФ  
Fig. Dependence of tensile strength on plasticizer content per 100 wt. ch.: polyvinylchloride, wt. ch.: 1 – BDEHP; 2 – DOF

Такой эффект достигается при некаталитическом сшивании макромолекул полимерной композиции в результате вторичной реакции перестройки блоков сопряженных связей, возникающих при дегидрохлорировании. Разложение БДЭГФ с выделением бромистого водорода способствует возникновению дополнительных блоков сопряженных связей, в результате чего может происходить дополнительная сшивка макромолекул полимера.

Результаты исследования подтверждают возможность дополнительной сшивки фрагментов макромолекул с молекулами пластификатора БДЭГФ. Таким образом, процессу термоокислительной деструкции сопутствует образование сшитых структур путем раскрытия двойных углерод-углеродных связей двух и более макромолекул [29].

Анализ результатов, приведенных в табл. 2, свидетельствует, что добавление наполнителя снижает прочность при разрыве и температуру хруп-

кости образцов (образец 2). Увеличение содержания бромированного пластификатора до 30 масс. ч. повышает кислородный индекс образцов до 33%, поддерживая температуру хрупкости и прочностные показатели на заданном уровне.

Отмечено, что исследуемый бромсодержащий пластификатор снижает температуру хрупкости образца, но в меньшей степени, чем наполнитель-антипирен (образцы 1, 5).

#### ВЫВОДЫ

Таким образом, можно сделать вывод, что использование бромированного пластификатора, полученного из отходов нефтехимических производств, в качестве пластификатора-антипирена в композициях на основе ПВХ для кабельного пластика возможно с учетом допустимых дозировок и в сочетании со стандартным пластификатором ПВХ.

Показано, что добавление инертного минерального наполнителя снижает прочность при разрыве и температуру хрупкости полимерной композиции ПВХ-пластика.

Замена в рецептуре кабельного пластика стандартного пластификатора диоктилфталата бромированным пластификатором из отходов производства до 30 масс. ч. на 100 масс. ч. поливинилхлорида повышает кислородный индекс до 33%,

при этом температура хрупкости, прочность при разрыве и относительное удлинение сохраняются на заданном уровне.

Установлено, что при введении в модельный образец без наполнителя и стабилизатора до 33 масс. ч. исследуемого пластификатора наблюдается увеличение прочности при разрыве в пределах 25-45%; отмечен максимум прочности при разрыве при содержании БДЭГФ 20 масс. ч. на 100 масс. ч. поливинилхлорида.

Подтверждена роль процессов дегидрохлорирования поливинилхлорида и разложения бромсодержащего пластификатора с выделением бромистого водорода из БДЭГФ, способствующих некаталитической сшивке макромолекул полимерной композиции в результате вторичной реакции перестройки блоков сопряженных связей, возникновению дополнительных блоков сопряженных связей и дополнительной сшивке макромолекул полимера за счет бромсодержащего пластификатора, и усилению эффекта повышения прочности при разрыве.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.*

*The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Измайлов Б.А., Комарова Л.Г., Родловская Е.Н., Маркова Г.Д., Васнев В.А., Рудакова Т.А., Амеличев А.А., Новикова Н.С. // *Пласт. массы*. 2016. № (9-10). С. 15-17. DOI: 10.35164/0554-2901-2016-9-10-15-17.
2. Воробьева Е.В. // *Журн. прикл. химии*. 2021. № 94(8). С. 1016-1022. DOI: 10.31857/S0044461821080077.
3. Воробьева Е.В. // *Журн. прикл. химии*. 2021. № 94(9). С. 1155-1163. DOI: 10.31857/S0044461821090061.
4. Кудашев С.В., Кузнецов М.В., Варфоломеев М.А., Емельянов Д.А., Гресь И.М., Ваниев М.А. // *Журн. прикл. химии*. 2018. № 91(3). С. 372-376. DOI: 10.1134/S1070427218030114.
5. Кудашев С.В., Медведев В.П. // *Журн. прикл. химии*. 2018. № 91(3). С. 447-450. DOI: 10.1134/S1070427218030266.
6. Плотникова Р.Н., Корчагин В.И., Попова Л.В. // *Пласт. массы*. 2022. № (5-6). С. 50-52. DOI: 10.35164/0554-2901-2022-5-6-50-52.
7. Плотникова Р.Н. // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та инж. технол.* 2022. Т. 84. Вып. 1. С. 202-207. DOI: 10.20914/2310-1202-2022-1-202-207.
8. Та К.К., Бондалетов В.Г., Огородников В.Д., Бондалетова Л.И. // *Вестн. технол. ун-та*. 2022. Т. 25. № 4. С. 34-39. DOI: 10.55421/1998-7072-2022-25-4-34.
9. Захарян Е.М., Петрухина Н.Н., Джабаров Э.Г., Максимов А.Л. // *Журн. прикл. химии*. 2020. № 93(9). С. 1218-1262. DOI: 10.31857/S0044461820090017.

#### REFERENCES

1. Izmailov B.A., Komarova L.G., Rodlovskaya E.N., Markova G.D., Vasnev V.A., Rudakova T.A., Amelichev A.A., Novikova N.S. // *Plast. Massy*. 2016. N (9-10). P. 15-17 (in Russian). DOI: 10.35164/0554-2901-2016-9-10-15-17.
2. Vorobieva E.V. // *Zhurn. Prikl. Khim.* 2021. V. 94. N 8. P. 1016-1022 (in Russian). DOI: 10.31857/S0044461821080077.
3. Vorobieva E.V. // *Zhurn. Prikl. Khim.* 2021. N 94(9). P. 1155-1163 (in Russian). DOI: 10.31857/S0044461821090061.
4. Kudashov S.V., Gres' I.M., Vaniev M.A., Kuznetsov M.V., Varfolomeev M.A., Emel'yanov D.A. // *Russ. J. Appl. Chem.* 2018. V. 91. N 3. P. 412-416. DOI: 10.1134/S1070427218030114.
5. Kudashov S.V., Medvedev V.P. // *Russ. J. Appl. Chem.* 2018. V. 91. N 3. P. 520-523. DOI: 10.1134/S1070427218030266.
6. Plotnikova R.N., Korchagin V.I., Popova L.V. // *Plast. Massy*. 2022. N (5-6). P. 50-52 (in Russian). DOI: 10.35164/0554-2901-2022-5-6-50-52.
7. Plotnikova R.N. // *Vestn. Voronezh. Gos. Un-ta Inzh. Tekhnol.* 2022. V. 84. N 1. P. 202-207 (in Russian). DOI: 20914/2310-1202-2022-1-202-207.
8. Ta K.K., Bondaletov V.G., Ogorodnikov V.D., Bondaletova L.I. // *Vest. Tekhnol. Univ.* 2022. V. 25. N 4. P. 34-39 (in Russian). DOI: 10.55421/1998-7072-2022-25-4-34.

10. Захарян Е.М., Петрухина Н.Н., Джабаров Э.Г., Максимов А.Л. // *Журн. прикл. химии*. 2020. № 93(10). С. 1370-1417. DOI: 10.31857/S0044461820100011.
11. Ушков В.А., Лалаян В.М., Невзоров Д.И., Ломакин С.М. // *Пожаровзрывобезопасность*. 2013. № 22(10). С. 25-31. DOI: 10.18322/PVB.2018.22.10.25-33.
12. Бешапошникова В.И. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2005. Т. 48. Вып. 2. С. 67-70.
13. Miyake Y. // *Sci. Total Environ.* 2017. N 601–602. P. 1333–1339. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.249.
14. Ахраров Б.Б., Мухамедгалиев Б.А. // *Пласт. массы*. 2016. № (11-12). С. 37-38. DOI: 10.35164/0554-2901-2016-11-12-37-38.
15. Ахраров Б.Б., Мухамедгалиев Б.А. // *Пласт. массы*. 2016. № (7-8). С. 25-27.
16. Плотникова Р.Н., Корчагин В.И., Попова Л.В. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 11. С. 112-116. DOI: 10.6060/ivkkt.20216411.6429.
17. Майданова И.О., Лакеев С.Н., Ишалина О.В., Никитина А.П. // *Журн. прикл. химии*. 2020. № 93(12). С. 1790-1794. DOI: 10.31857/S0044461820120105.
18. Плотникова Р.Н. // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та инж. технол.* 2021. Т. 83. Вып.1. С. 290-296. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-290-296.
19. Чирков Д.Д., Кулаженко Ю.М., Биктимирова О.Е., Шкуро А.Е., Глухих В.В. // *Вестн. технол. ун-та*. 2023. Т. 26. № 10. С. 69-74. DOI: 10.55421/1998-7072-2023-26-10-69.
20. Кривоногов П.С. // *Вестн. технол. ун-та*. 2022. Т. 25. № 3. С. 51-56. DOI: 10.55421/1998-7072-2022-25-3-51.
21. Плотникова Р.Н., Попова Л.В., Студеникина Л.Н. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 5. С. 102-109. DOI: 10.6060/ivkkt.20236605.6790.
22. Фомина Д.Л., Мазина Л.А., Дебердеев Т.Р., Улитин Н.В., Нечаев Р.Р. // *Вестн. технол. ун-та*. 2012. Т. 15. № 18. С. 107-109.
23. Мартынов А.В., Мазина Л.А., Ключников О.Р. // *Вестн. технол. ун-та*. 2016. Т. 19. № 15. С. 73-75.
24. Исламов А.М., Сучкова Е.А., Мурсалимова Д.Р., Валиева Д.М. // *Вестн. технол. ун-та*. 2023. Т. 26. № 6. С. 20-24. DOI: 10.55421/1998-7072-2023-26-6-20.
25. Долгушева М.А., Черезова Е.Н. // *Вестн. технол. ун-та*. 2020. Т. 23. № 8. С. 39-41.
26. Черезова Е.Н., Кияненко Е.А. // *Вестн. технол. ун-та*. 2023. Т. 26. № 1. С. 93-98. DOI: 10.55421/1998-7072-2023-26-1-93.
27. Фомина Д.Л., Мазина Л.А., Дебердеев Т.Р., Ахматчин Э.С., Улитин Н.В. // *Вестн. технол. ун-та*. 2012. Т. 15. № 18. С. 104-106.
28. ГОСТ Р 59707-2021 Пластикаты поливинилхлоридные пониженной горючести для кабельных изделий.
29. Плотникова Р.Н., Корчагин В.И., Попова Л.В. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 5. С. 87-93. DOI: 10.6060/ivkkt.20226505.6566.
9. Zakharyan E.M., Petrukhina N.N., Maksimov A.L. // *Russ. J. Appl. Chem.* 2020. 93(9). P. 1271-1313. DOI: 10.31857/S0044461820090017.
10. Zakharyan E.M., Petrukhina N.N., Dzhabarov E.G., Maksimov A.L. // *Russ. J. Appl. Chem.* 2020. V. 93. N 10. P. 1445-1490. DOI: 10.31857/S0044461820100011.
11. Ushkov V.A., Lalayan V.M., Nevzorov D.I., Lomakin S.M. // *Pozharovzryvobezopastnost*. 2013. V. 22. N 10. P. 25-31(in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.22.10.25-33.
12. Beshaposhnikova V.I. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2005. V. 48. N 2. P. 67-70 (in Russian).
13. Miyake Y. // *Sci. Total Environ.* 2017. N 601–602. P. 1333–1339. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.249.
14. Akhrarov B.B., Mukhamedgaliev B.A. // *Plast. Massy*. 2016. N 11-12. P. 37-38 (in Russian). DOI: 10.35164/0554-2901-2016-11-12-37-38.
15. Akhrarov B.B., Mukhamedgaliev B.A. // *Plast. Massy*. 2016. N 7-8. P. 25-27 (in Russian).
16. Plotnikova R.N., Korchagin V.I., Popova L.V. // *Chem-ChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 11. P. 112-116 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216411.6429.
17. Maydanova I.O., Lakeev S.N., Ishalina O.V., Nikitina A.P. // *Russ. J. Appl. Chem.* 2020. V. 93. N 12. P. 1883-1887. DOI: 10.31857/S0044461820120105.
18. Plotnikova R.N. // *Vestn. Voronezh. Gos. Un-ta Inzh. Tekhnol.* 2021.V. 83. N 1. P.290-296 (in Russian). DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-290-296.
19. Chirkov D.D., Kulazhenko Yu.M., Biktimirova O.E., Shkuro A.E., Glukhikh V.V. // *Vest. Tekhnol. Univ*. 2023. V. 26. N 10. P. 69-74 (in Russian). DOI: 10.55421/1998-7072-2023-26-10-69.
20. Krivonogov P.S. // *Vest. Tekhnol. Univ*. 2022. V. 2. N 3. P. 51-56 (in Russian). DOI: 10.55421/1998-7072-2022-25-3-51.
21. Plotnikova R.N., Popova L.V., Studenikina L.N. // *Chem-ChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 5. P. 102-109 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20236605.6790.
22. Fomina D.L., Mazina L.A., Deberdeev T.R., Ulitin N.V., Nechaev R.R. // *Vest. Tekhnol. Univ*. 2012. V. 15. N 18. P. 107-109 (in Russian).
23. Martynov A.V., Mazina L.A., Klyuchnikov O.R. // *Vest. Tekhnol. Univ*. 2016. V. 19. N 15. P. 73-75 (in Russian).
24. Islamov A.M., Suchkova E.A., Mursalimova D.R., Valieva D.M. // *Vest. Tekhnol. Univ*. 2023. V. 26. N 6 P. 20-24 (in Russian). DOI: 10.55421/1998-7072-2023-26-6-20.
25. Dolgusheva M.A., Cherezova E.N. // *Vest. Tekhnol. Univ*. 2020. V. 23. N 8. P. 39- 41 (in Russian).
26. Cherezova E.N., Kiyanencko E.A. // *Vest. Tekhnol. Univ*. 2023. V. 26. N 1. P. 93-98 (in Russian). DOI: 10.55421/1998-7072-2023-26-1-93.
27. Fomina D.L., Mazina L.A., Deberdeev T.R., Akhmatchin E.S., Ulitin N.V. // *Vest. Tekhnol. Univ*. 2012. V. 15. N 18. P. 104-106 (in Russian).
28. GOST R 59707-2021 Polyvinyl chloride plastic compounds of reduced flammability for cable products.
29. Plotnikova R.N., Korchagin V.I., Popova L.V. // *Chem-ChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 5. P. 87-93 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226505.6566.

Поступила в редакцию (Received) 11.12.2023

Принята к опубликованию (Accepted) 14.02.2024