РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

Обзорная статья
УДК 66.022.387
https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-156-161

CC BY 4.0

Добавки для понижения горючести полимеров

Ильназ Ильгизович Зарипов[1]*, Ирина Николаевна Вихарева[1], Евгения Андреевна Буйлова[1], Татьяна Вячеславовна Берестова[2], Алия Карамовна Мазитова[1]

[1] Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия
[2] Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: ilnaz.zaripov1996@mail.ru

АННОТАЦИЯ: Введение. В данной обзорной статье приведены данные о добавках, используемых для понижения горючести полимерных композиций. Показано, что для этой цели используют не отдельные вещества, а их смеси, включающие замедлители горения, синергисты, стабилизаторы. Принцип действия антипиренов сводится к тому, что при достижении соответствующей степени концентрации антипиренов в материале они не дают ему гореть без наличия источника возгорания. Под воздействием огня на обработанный материал в нем происходят различные химические и физические процессы, не дающие пламени разгореться. **Основная часть.** Проанализированы достоинства и недостатки основных антипиренов, используемых в настоящее время, к которым относятся соединения сурьмы, галогенсодержащие соединения, фосфорсодержащие вещества, а также гидроксиды алюминия и магния. Рассмотрены различные механизмы замедления процессов горения при использовании антипиренов. Показано, что бромсодержащие антипирены намного более эффективны, чем хлорсодержащие. Они разлагаются в узком интервале температур. Кроме того, пластмассы, содержащие в качестве антипиренов соединения брома, легко подвергаются вторичной переработке благодаря высокой термостабильности таких антипиренов. Фосфорсодержащие соединения обладают пластифицирующей способностью и повышают огнестойкость пластикатов. Действие в конденсированной фазе заключается в том, что при разложении антипирена образуются остатки фосфорной кислоты, которые выступают как дегидратирующие агенты, способствуя образованию карбонизированных структур. При этом также может образовываться аэрозоль, способствующий дезактивации радикалов за счет эффекта стенки. Особенно интересны соединения, содержащие галоген и фосфор. Достоинства этих соединений заключаются в следующем: отщепляя при разложении галогенрадикалы, дезактивируют активные радикалы; способствуют образованию карбонизированных структур. Гидроксиды металлов под воздействием высоких температур разлагаются с выделением воды. Реакция разложения является эндотермической, что приводит к охлаждению субстрата до температур ниже точки воспламенения. Образование воды способствует разбавлению горючих газов, выделяющихся при разложении, ослабляет действие кислорода и уменьшает скорость горения. Эффективность гидроксидов прямо пропорциональна их содержанию в полимере. Наибольшая эффективность наблюдается при введении гидроксида алюминия в кислородсодержащие полимеры (полиэтилентерефталат, полибутилентерефталат, полиамид). Гидроксид магния дороже, чем гидроксид алюминия, но обладает более высокой теплостойкостью (до 300°С). **Заключение.** Таким образом, из перечисленных антипиренов первое место по объему применения (более 40% всего объема антипиренов) занимают гидроксиды алюминия и магния. Это обусловлено их низкой стоимостью, технологичностью их применения и экологической безопасностью. Правильно подобранная система на основе гидроксида металла позволяет получить дешевый негорючий материал с небольшим количеством дыма, выделяющегося при разложении. Поэтому применение гидроксидов металлов в качестве антипиренов постоянно возрастает.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: антипирены, горючесть, огнестойкость, полимерные композиции.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Зарипов И.И., Вихарева И.Н., Буйлова Е.А., Берестова Т.В., Мазитова А.К. Добавки для понижения горючести полимеров // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 2. С. 156–161. https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-156-161.

ВВЕДЕНИЕ

Антипирены – вещества, предохраняющие материалы органического происхождения от воспламенения и самостоятельного горения [1, 2]. В настоящее время используют не отдельные вещества, а их смеси. В состав антипирена входят [3, 4]:

– замедлители горения (фосфаты аммония, сульфат аммония, борная кислота, силикаты, хлористый аммоний);

© Зарипов И.И., Вихарева И.Н., Буйлова Е.А., Берестова Т.В., Мазитова А.К., 2022

– синергисты – вещества, усиливающие действие основного замедлителя;
– стабилизаторы, ограничивающие расход замедлителя.

Принцип действия антипиренов сводится к тому, что при достижении соответствующей степени концентрации антипиренов в материале они не дают ему гореть без наличия источника возгорания. Под воздействием огня на обработанный материал в нем происходят различные химические и физические процессы, не дающие пламени разгореться [5–8].

Все средства, повышающие огнезащитные свойства, делятся на покрытия, защищающие от огня, и составы, проникающие в обрабатываемый материал. К первой категории относятся лаки, пасты, краски и различные обмазки, ко второй – огнезащитные пропитки.

Горение представляет собой очень сложный физико-химический процесс, включающий как химические реакции деструкции, сшивания и карбонизации, химические реакции превращения и окисления газовых продуктов горения, так и физические процессы теплопередачи [9]. Реакции фактически приводят к двум основным типам продуктов: газообразным веществам (горючим и негорючим) и твердым продуктам (углеродсодержащим и минеральным). При протекании реакции в предпламенной области образуются топливо для пламени, сажа и пр.

В результате термической деструкции полимеров выделяются летучие продукты распада, содержащие группы С–С и С–Н, которые образуют свободные радикалы, вступающие в реакцию с кислородом. Полагают, что способность к возгоранию и скорость распространения пламени зависят от скорости образования радикалов $HO^{\cdot}$. Реакции, приводящие к образованию CO_2 и H_2O, сильно экзотермичны, т.е. проходят с выделением большого количества тепла. Это тепло создает условия для самоускорения реакций окисления и последующего горения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Механизмы действия антипиренов

Существуют несколько механизмов замедления процессов горения с помощью антипиренов [10]:

– Ингибирование свободно радикальных процессов, происходящих при разложении полимера вследствие образования веществ, способных взаимодействовать со свободными радикалами с образованием радикалов с меньшей реакционной способностью. Замедлению горения способствует введение веществ, содержащих галогены (хлор, бром, фтор, йод), азот, фосфор и бор. При высоких температурах антипирены разлагаются с образованием галоген радикалов, реагирующих преимущественно с очень активными радикалами $HO^{\cdot}$.

– Образование защитного слоя на поверхности полимера, непроницаемого для кислорода или изолирующего от дальнейшего нагревания. Механизм действия целого ряда антипиренов (силикаты и алюмосиликаты, бораты металлов, фосфаты, их органические производные) обусловлен преобладающим влиянием на процесс горения образующихся на поверхности защитных слоев. Эти слои состоят из нелетучих остатков (главным образом, оксидов металлов), образующихся при разложении неорганических соединений. Антипирены, которые способны создавать плотные поверхностные защитные слои, создают своего рода физический барьер действию пламени на полимер, затрудняют диффузию горючих газов в пламя. К таким антипиренам относятся метаборат бария, борат цинка, тетрафторборат аммония [11]. Антипирены, содержащие соединения фосфора, снижают кислородопроницаемость материала. Примером такого антипирена может быть диаммоний фосфат. Одним из эффективных ингибиторов процессов горения и тления различных полимеров считаются органические соединения фосфора, действие которых объясняется следующим способом [12]. При пиролизе полимеров, содержащих соединения фосфора, происходит образование фосфорной кислоты и ее ангидридов, которые катализируют дегидратацию и дегидрирование.

– Выделение негорючих газов, препятствующих подводу кислорода в зону горения. При применении в качестве антипиренов соединений галогенов замедление горения полимеров может происходить по следующему механизму. Хлорид или бромид аммония при температурах выше 200 и 250°С, соответственно, разлагаются на аммиак, хлороводород и бромоводород. Газообразные (хлороводород и бромоводород) подавляют горение. Кроме этого, уменьшается процентное содержание кислорода в газовой фазе, что также замедляет горение.

– Разложение антипиренов или взаимодействие антипиренов и продуктов их деструкции с другими веществами с поглощением тепла, что способствует уменьшению температуры материала ниже точки воспламенения. Большую группу веществ, применяемых в качестве антипиренов, составляют вещества, эндотермически разлагающиеся с образованием негорючих продуктов. Сюда можно отнести гидроксиды алюминия, магния, цинка, гидратированные карбонаты металлов, мочевину и другие вещества. Механизм действия таких антипиренов связан с чисто физическим влиянием на тепловой баланс процесса горения.

– Предотвращение распространения пламени в процессе горения вследствие дополнительных

затрат тепловой энергии на нагревание порошкообразного наполнителя. Введение негорючих наполнителей в материалы позволяет снизить содержание горючей составляющей. Для этой цели, кроме дисперсных наполнителей (мел, песок), могут применять и волокнистые (стеклянные волокна, асбест). Большое значение имеют силикаты калия или натрия как предохранительное против огня средство, так как покрытые им материалы загораются с большим трудом. Для этой цели материал покрывается несколько раз раствором силиката, к которому прибавлено немного мела, костяной золы, минеральной краски или каких-нибудь других измельченных, неплавких, минеральных веществ. Обработанные материалы не горят пламенем, а только обугливаются и тлеют.

Синергические смеси антипиренов

Следует отметить, что на самом деле механизм действия антипиренов не сводится к какому-либо одному эффекту, а является более сложным процессом. Одновременное присутствие в смеси двух или более веществ, препятствующих образованию пламени, способствует достижению значительно большего эффекта по сравнению с эффектами, наблюдаемыми при использовании тех же веществ раздельно. Совместное действие двух веществ называется синергизмом. Самым эффективным антипиреном в настоящее время является оксид сурьмы в сочетании с галогенсодержащими органическими соединениями (оптимальное мольное соотношение Sb/Cl = $^1/_3$). Эта смесь обладает синергическим эффектом [13]. Предположительный механизм действия этой смеси следующий. Выделяющийся при горении полимера из гологеноорганического соединения хлористый водород взаимодействует с оксидом сурьмы с образованием оксихлорида сурьмы, который, в свою очередь, может разлагаться с выделением трихлорида сурьмы:

$$Sb_2O_3 + 2HCl = 2SbOCl + H_2O$$
$$5SbOCl = Sb_4O_5Cl_2 + SbCl_3 \text{ (при 245–280°C)}$$
$$4Sb_4O_5Cl_2 = 5Sb_3O_4Cl + SbCl_3 \text{ (при 410–475°C)}$$
$$3Sb_3O_4Cl = 4Sb_2O_3 + SbCl_3 \text{ (при 475–565°C)}$$

Образующийся на конечной стадии оксид сурьмы, являясь порошкообразным наполнителем, вносит свой вклад в замедление горения, создавая дополнительные препятствия для распространения пламени. Газообразный трихлорид сурьмы, в свою очередь, ограничивает подвод кислорода в зону горения. Широкому использованию оксида сурьмы способствует также то, что он не является канцерогенным соединением.

Галогенсодержащие антипирены

Хорошо зарекомендовали себя галогенсодержащие антипирены [14–18]. Для однотипных соединений эффективность галогенсодержащих антипиренов убывает в ряду J > Br > Cl > F. Наибольшей эффективностью обладают соединения с пониженной энергией связи углерод – галоген. Эффективность галогенсодержащих соединений определяется тем, насколько легко могут диссоциировать связи С–Г. То есть эффективность антипирена зависит не только от содержания галогена, но и от радикала, к которому он присоединен. Таковыми являются галогенсодержащие алифатические соединения. Чаще всего используют хлорированный парафин ($C_nH_{2n+2-x}Cl_x$, где n = 10–30; x = 1–7), содержащий до 70% связанного хлора. Реже применяют ароматические хлор- или бромсодержащие соединения, например, декабромдифенилоксид, ($C_{16}H_{10}Br_{10}O$), тетрахлорфталиевый ангидрид ($C_8Cl_4O_3$). Ароматические соединения более устойчивы и поэтому в меньшей степени снижают горючесть. Соединения фтора и иода не применяются в качестве антипиренов, так как соединения фтора малоэффективны, а соединения иода обладают низкой термостабильностью при переработке. Применение хлора в последнее время сильно сократилось в связи с давлением общественных организаций, обеспокоенных токсичностью данных соединений. А при сжигании бромсодержащих антипиренов не выделяются токсичные соединения (диоксины и фураны). Номенклатура и объем использования бромсодержащих антипиренов больше, чем хлорсодержащих. Бромсодержащие антипирены намного более эффективны, чем хлорсодержащие, так как продукты их горения менее летучи. Кроме того, хлорсодержащие антипирены выделяют хлор в широком интервале температур, поэтому содержание его в газовой фазе низкое, а бромсодержащие антипирены разлагаются в узком интервале температур, обеспечивая таким образом оптимальную концентрацию брома в газовой фазе. Также следует обратить внимание на такой немаловажный фактор, как вторичная переработка материалов, содержащих антипирены. По последним данным, пластмассы, содержащие в качестве антипиренов соединения брома, легко подвергаются вторичной переработке благодаря высокой термостабильности таких антипиренов.

Полибромдифенил оксид и его производные. Подходят для большинства пластмасс, кроме вспененного полистирола. В настоящее время применение таких соединений сокращается в связи с давлением экологических организаций.

Дибромнеопентил гликоль и его производные. Применяется для полиэфирных смол в процессе синтеза. Содержит 60% брома. Обладают высокой

термостабильностью и химстойкостью. Высокоэффективный антипирен. Высокая светостойкость. Может также использоваться в жестких полиуретановых пенах.

Дибромстирол и его производные. Включая привитые сополимеры с полипропиленом. Рекомендован для акрилонитрилбутадиенстирольных пластиков, полистирола, конструкционных термопластов, ненасыщенных полиэфиров и полиуретанов. Не рекомендован для использования в ПВХ, вспененном полистироле и жестких полиуретановых пенах.

Гексабромциклододекан используется в ударопрочном полистироле и полиолефинах, в том числе и вспененных.

Пентабромбензил акрилат разработан для конструкционных термопластов. Используется при реакционной экструзии для сополимеризации с полиамидами, термопластичными полиэфирами и поликарбонатом, позволяя получить класс V-0 по UL-94 (самогашение в течение менее 10 секунд после удаления пламени; не допускается образование горящих капель) без ухудшения физико-механических свойств полимера.

Может применяться также и для наполненного полипропилена. Благодаря высокой молекулярной массе не мигрирует, обладает высокой термостабильностью, химстойкостью. Улучшает совместимость наполнителя (стекловолокна) с полипропиленом.

Бромированные эпоксиолигомеры (BEO) применяются для конструкционных термопластов (полиэтилентерефталат, полибутилентерефталат, полиамид 6, 66 и т.д.), термопластичных полиуретанов и смесей поликарбоната/акрилонитрилбутадиенстирола. Благодаря высокой молекулярной массе не мигрирует, обладает высокой термостабильностью, химстойкостью.

Тетрабромфталевый ангидрид и его производные. Используется в реактопластах и полиуретанах. Может использоваться в ПВХ и термоэластопластах.

Трибромнеопентанол содержит 70% алифатически присоединенного брома, вводится на стадии синтеза, химически взаимодействует с полимером. Обладает очень высокой термо- и светостойкостью. Не подвержен гидролитической деструкции. Хорошо растворим в полиолах, что делает его особенно подходящим для изготовления негорючих полиуретанов.

Трибромфенол и его производные. Используется для полистирола и его сополимеров (полистирол с высокой ударной прочностью, акрилонитрилбутадиенстирол), поликарбоната, полиамида, вспененного полиуретана и реактопластов. Не подходит для полиолефинов и ПВХ.

Бромированный триметилфенил индан (разработка компании Dead Sea Bromine Group). Содержит 73% ароматически присоединенного брома, обеспечивая прекрасную термостабильность, что особенно важно при переработке конструкционных пластмасс. Позволяет повысить ударную вязкость и текучесть расплава термопластов.

Фосфорсодержащие антипирены

Фосфорсодержащие антипирены могут быть органическими и неорганическими [19, 20]. Они активны в газовой или конденсированной фазе, а иногда и в обеих. Полагают, что соединения фосфора действуют в газовой фазе через образование радикалов $PO^{\cdot}$, поглощающих активные радикалы $H^{\cdot}$ и $OH^{\cdot}$, которые способствуют распространению пламени.

Действие в конденсированной фазе заключается в том, что при разложении антипирена образуются остатки фосфорной кислоты, которые выступают как дегидратирующие агенты, способствуя образованию карбонизированных структур. При этом также может образовываться аэрозоль, способствующий дезактивации радикалов за счет эффекта стенки.

Номенклатура фосфорсодержащих соединений довольно широка, их можно разделить на 2 группы – галогенсодержащие и не содержащие галогенов.

Достоинство соединений, содержащих галоген и фосфор:

– отщепляя при разложении галогенрадикалы, дезактивируют по обычному для галогенов механизму активные радикалы $H^{\cdot}$ и $OH^{\cdot}$;
– способствуют образованию карбонизированных структур по описанному выше механизму.

Ко второй группе относятся красный фосфор, водорастворимые неорганические фосфаты, нерастворимый фосфат аммония и полифосфаты, органофосфаты и фосфонаты, а также фосфиноксиды.

Красный фосфор является прекрасным антипиреном для гетероцепных полимеров (полиэтилентерефталат, поликарбонат и т.п.). Специально обработанный красный фосфор используется для огнезащиты электротехнических изделий из полиамидов. В комбинации со вспенивающими и карбонизирующими агентами применяется в интумесцентных антипиренах. Применение фосфора ограничено его токсичностью и красным цветом.

Триарилфосфаты. Трифенилфосфат (TPP) применяется в смесях поликарбоната/акрилонитрилбутадиенстирола и полифениленоксида. Трикрезилфосфат (TCP) в основном используется в ПВХ в качестве пластификатора, повышающего огнестойкость, и в стиролсодержащих полимерах.

Диарилфосфаты (RDP и BDP) – бесцветные жидкости, используемые в основном в смесях поликарбоната/акрилонитрилбутадиенстирола, полибутилентерефталата, полифениленоксида. Это низколетучие, теплостойкие продукты с более низ-

ким, по сравнению с триарилфосфатами, пластифицирующим эффектом. Обычно достаточно 10–15% таких соединений для достижения соответствующего класса огнестойкости по UL-94. Обладают высокой стойкостью к гидролитической деструкции.

Алкилфосфонаты. Высокая эффективность соединений данного класса обусловлена большим содержанием фосфора. Однако высокая летучесть таких антипиренов ограничивает их применение в жестких полиуретановых пенах и высоконаполненных полиэфирах.

Олигомерные циклические фосфонаты. Высокая вязкость таких соединений усложняет их использование в чистом виде. Чаще всего используются суперконцентраты. В основном применяются для изготовления негорючих волокон из полиэтилентерефталата, при содержании 6% активного компонента в полиэтилентерефталате удовлетворяют всем требованиям к такой продукции. Благодаря низкой летучести могут использоваться в жестких полиуретановых пенах.

Гидроксиды металлов

Гидроксид алюминия (ATH) применяется в эластомерах, реактопластах и термопластах. Разлагается при температурах 190–230°C в зависимости от размера частиц 0,25–3 мкм. Основные области применения – бутадиен-стирольный латекс, для ковровых покрытий, изготовление негорючей эластомерной кабельной изоляции, ленточных транспортеров, кровельных материалов и шлангов. Наибольшая эффективность наблюдается при введении гидроксида алюминия в кислородсодержащие полимеры (полиэтилентерефталат, полибутилентерефталат, полиамид).

Гидроксид магния (MH) представляет собой белый порошок с размером частиц от 0,5 до 5 мкм. Для достижения огнезащитного эффекта вводится в количестве 50–70% от массы полимера. Гидроксид магния дороже, чем гидроксид алюминия, но обладает более высокой теплостойкостью (до 300°C). В основном используется в полипропилене, акрилонитрилбутадиенстирольных пластиках и полифениленоксиде, не рекомендуется использовать в термопластичных полиэфирах (полиэтилентерефталат, полибутилентерефталат), так как он ускоряет деструкцию таких полимеров.

Гидроксиды металлов под воздействием высоких температур разлагаются с выделением воды. Реакция разложения является эндотермической, что приводит к охлаждению субстрата до температур ниже точки воспламенения. Образование воды способствует разбавлению горючих газов, выделяющихся при разложении, ослабляет действие кислорода и уменьшает скорость горения. Эффективность гидроксидов прямо пропорциональна их содержанию в полимере [21].

В некоторых тестах, используемых для оценки электротехнических изделий и кабельной изоляции, основными параметрами являются самозатухание материала и стойкость к возгоранию. Гидроксиды металлов подходят для применения в этих областях. Более того, после разложения образуется теплоизолирующий слой, который также предотвращает выделение дыма.

Борат цинка может применяться для огнезащиты ПВХ, полиолефинов, полиамидов, эластомеров и эпоксидных смол. В галогенсодержащих системах используется совместно с оксидом сурьмы, а в безгалогенных – с гидроксидами металлов или красным фосфором.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, из перечисленных антипиренов первое место по объему применения (более 40% всего объема антипиренов) занимают гидроксиды алюминия и магния. Это обусловлено их низкой стоимостью, технологичностью их применения и экологической безопасностью. Правильно подобранная система на основе гидроксида металла позволяет получить дешевый негорючий материал с небольшим количеством дыма, выделяющегося при разложении. Поэтому применение гидроксидов металлов в качестве антипиренов постоянно возрастает.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Маслова И.П. Химические добавки к полимерам. Справочник. М.: Химия, 1981. 264 с.
2. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Снижение горючести полимерных материалов. М.: Знание, 1981. 61с.
3. Вейл Э., Левчик С. Антипирены для пластмасс и текстиля. Практическое применение. Мюнхен: Изд-во Хансер, 2009.
4. Гликштерн М. В. Антипирены // Полимерные материалы. 2003. № 3. С. 22–23; № 4. С. 15–18.
5. Копылов В.В. Полимерные материалы с пониженной горючестью. М.: Химия, 1986. 224 с.
6. Гуль В.Е., Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров. М.: Изд. Лабиринт, 1994. 367 с.

7. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Горение полимерных материалов. М.: Наука, 1981. 280 с.

8. Баратов А.Н., Андрианов Р.А., Корольченко А.Я., Михайлов Д.С., Ушков В.А., Филин Л.Г. Пожарная опасность строительных материалов. М.: Стройиздат, 1988. 380 с.

9. Кодолов В.И. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов. М.: Химия, 1976. 160 с.

10. Халтуринский Н.А., Берлин А.А., Попова Т.В. Горение полимеров и механизмы действия антипиренов // Успехи химии. 1984. Т. 53, № 2. С. 21.

11. Кодолов В.И. Замедлители горения полимерных материалов. М.: Химия, 1980. 274 с.

12. Плотникова Г.В., Егоров А.Н. Доступные фосфорорганические соединения как замедлители горения // Пожаровзрывобезопасность. 2003. № 6. С. 26–29.

13. Федеев С.С, Богданова В.В., Сафропенко Е.Д. Ингибирование горения полимеров. Исследование механизма действия синергических смесей оксид сурьмы – галогенсодержащие соединения. М. 1988. С. 41.

14. Levchik S.V. Introduction to Flame Retardancy and Polymer Flammability. *Flame Retardant Polymer Nanocomposites*. 2006; 1–29.

15. Raffan-Montoya F., Stoliarov S.I. Measurement of heat release in laminar diffusion flames fueled by controlled pyrolysis of milligram-sized solid samples: Impact of bromine- and phosphorus-based flame retardants. *Combustion and Flame*. 2015; 162(12): 4660–4670.

16. Shaklein A.A. et al. Two-step gas-phase reaction model for the combustion of polymeric fuel. *Fuel*. 2019; 255(115878).

17. Snegirev A.Y. et al. Autocatalysis in thermal decomposition of polymers. *Polymer degradation and stability*. 2017; 137: 151–161.

18. Берлин А.А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 9. С. 57–63.

19. Kausar A. et. al. Recent Developments in Different Types of Flame Retardants and Effect on Fire Retardancy of Epoxy Composite. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*. 2016; 55(14): 1512–1535.

20. Кулезнев П.В., Балакин В.М. Исследование влияния фосфорсодержащих антипиренов на горючесть и диэлектрические свойства эпоксидных компаундов // Пластические массы. 2012. № 9. С. 8–9.

21. Чалый В. П. Гидроокиси металлов: закономерности образования, состав, структура и свойства. Киев: Институт общей и неорганической химии АН УССР. Наук. думка, 1972. 158 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зарипов Ильназ Ильгизович – ассистент каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ilnaz.zaripov1996@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-2051-831X

Вихарева Ирина Николаевна – ассистент каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия, irina.vikhareva2009@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5681-2767

Буйлова Евгения Андреевна – кандидат химических наук, доцент каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия, evg-builova@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-8799-6434

Берестова Татьяна Вячеславовна – кандидат химических наук, доцент каф. «Физическая химия и химическая экология», Башкирский государственный университет, Уфа, Россия, berestovatv@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-0738-8779

Мазитова Алия Карамовна – доктор химических наук, профессор, заведующий каф. «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия, elenaasf@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-2304-1692

ВКЛАД АВТОРОВ

Зарипов И.И. – развитие методологии; написание исходного текста; доработка текста.

Вихарева И.Н. – концепция исследования.

Буйлова Е.А. – сбор материала.

Берестова Т.В. – участие в разработке материала.

Мазитова А.К. – научное руководство; итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 22.02.2022; одобрена после рецензирования 29.03.2022; принята к публикации 05.04.2022.