

УДК 691.175

Мусяца О.Н., канд. хім. наук

### **ПІДВИЩЕННЯ ГОРЮЧОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ (ПОЛІМЕРІВ) – ЯК ЧИННИК, ЩО ВПЛИВАЄ НА ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЇ**

**Анотація.** Показано, що деякі фториди металів і кристалогідрати солей є одними з перспективних наповнювачів-антипіренів неорганічної природи, що знижують горючість поліформальдегіду і поліетилену, що володіють низьким кисневим індексом, покращуючи, таким чином, їх екологічність як будівельних матеріалів. При вмісті наповнювачів-антипіренів до 50 об. % в зазначених полімерах спостерігається перехід горючих легкозаймистих матеріалів в групу самозатухаючих на повітрі. Встановлено, що зниження горючості полівінілхлориду та аліфатичного поліаміду в присутності тих же наповнювачів-антипіренів значно нижче, ніж поліформальдегіду і поліетилену. Ефективність дії наповнювачів-антипіренів на горючість полімерних матеріалів залежить від їх природи, відповідності температур розкладання полімерів і наповнювачів, а також обумовлена величинами теплот згоряння вихідних полімерів і ступенем дисперсності наповнювачів-антипіренів. Результати даної роботи слід використовувати при створенні полімерних композиційних матеріалів зі зниженою горючістю, що знаходять все зростаюче застосування в транспортному, дорожньому і цивільному будівництві.

**Ключові слова:** горючість, кисневий індекс, полімери, наповнювачі-антипірени, екологія.

УДК 691.175

Мусяца О.Н., канд. хим. наук

### **ПОВЫШЕНИЕ ГОРЮЧЕСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ (ПОЛИМЕРОВ) – КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИИ**

**Аннотация.** Показано, что некоторые фториды металлов и кристаллогидраты солей являются одними из перспективных наполнителей-антипиренов неорганической природы, понижающих горючесть полиформальдегида и полиэтилена, обладающих низким кислородным индексом, и таким образом,

улучшающих их экологичность как строительных материалов. При содержании наполнителей-антипиренов до 50 об. % в указанных полимерах наблюдается переход горючих легковоспламеняющихся материалов в группу самозатухающих на воздухе. Установлено, что снижение горючести поливинилхлорида и алифатического полиамида в присутствии тех же наполнителей-антипиренов значительно ниже, чем полиформальдегида и полиэтилена. Эффективность действия наполнителей-антипиренов на горючесть полимерных материалов зависит от их природы, соответствия температур разложения полимеров и наполнителей, а также обусловлена величинами теплот сгорания исходных полимеров и степенью дисперсности наполнителей-антипиренов.

Результаты данной работы следует использовать при создании полимерных композиционных материалов с пониженной горючестью, находящих всё возрастающее применение в транспортном, дорожном и гражданском строительстве.

**Ключевые слова:** горючесть, кислородный индекс, полимеры, наполнители-антипирены, экология.

**UDC 691.175**

**Mustiatsa O.N.,** Cand. Che. Sci. (Ph.D.)

### **IMPROVING THE COMBUSTIBILITY OF BUILDING MATERIALS (POLYMERS) – AS A FACTOR ON IMPROVEMENT OF ECOLOGY**

**Abstract.** It has been shown that some metal fluorides and salt crystalline hydrates are some of the most promising fire-retarding fillers of inorganic nature that reduce combustibility of polyformaldehyde and polyethylene with low oxygen index and thus improve their environmental friendliness as construction materials. We can observe the transformation of highly inflammable materials into flammable self-extinguishing ones when the concentration of fire-retarding fillers in the indicated polymers is up to 50 vol. %. It has been found that reducing of flammability of PVC and aliphatic polyamide is much lower than flammability of polyformaldehyde and polyethylene in the presence of the same fire-retarding fillers.

The effectiveness of fire-retarding fillers on flammability of polymeric materials depends on their nature, corresponds to the temperature of decomposition of polymers and fillers, as well as due to the values of the heats of combustion of initial polymers and the degree of dispersion of fire-retarding fillers.

The results of this study should be used in creating polymer composite materials with low flammability that are applied in transport, road and civil constructions more often today.

**Keywords:** flammability, oxygen index, polymers, fire-retarding fillers, ecology.

Основным и обязательным компонентом пластмасс является полимер, но только лишь некоторые строительные пластмассы целиком состоят из полимера (например, органическое стекло, состоящее из полиметилметакрилата). В состав большинства пластмасс входят и другие компоненты: наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, красители и др.

Полимер в пластмассах выполняет роль связующего, аналогично цементу в бетонах. От вида полимера, его свойств и количества зависят важнейшие свойства этих многокомпонентных материалов.

Полимеры, способные многократно размягчаться и отвердевать при попеременном нагревании и охлаждении, называются термопластичными. Большинство из них хорошо растворимы в органических растворителях. Характерной особенностью многих термопластичных полимеров является быстрое снижение механических свойств при повышении температуры. Все эти свойства обусловлены линейным строением молекул полимера, их малой связью друг с другом, снижающейся при нагревании, и неспособностью к образованию сетчатых (сшитых) макромолекул. К термопластичным полимерам, нашедших широкое применение в строительных материалах, относятся: полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид. Термореактивные полимеры в отличие от термопластичных отвердевают необратимо. Отверждение происходит в результате сшивания линейных молекул в пространственные структуры как с помощью отверждающих добавок (отвердителей, вулканизаторов), так и за счет активных групп самих полимеров. В неотверждённом состоянии термореактивные полимеры обычно представляют собой олигомерные продукты. Термореактивные полимеры после отвердевания не растворяются ни в каких растворителях, хотя могут набухать в некоторых из них; при повышении температуры до некоторого предела они незначительно изменяют свои свойства, а затем наступает их термодеструкция (разложение). В отвержденном виде термореактивные полимеры более твердые и прочные, чем термопластичные. Примером термореактивных полимеров могут служить фенолформальдегидные, карбамидные, эпоксидные полимеры.

К настоящему времени синтезировано большое количество полимеров (несколько тысяч), но широкое применение в народном хозяйстве нашло только около 20, так называемых крупнотоннажных полимеров.

Проблема получения полимерных материалов пониженной горючести является наиболее актуальной в развитии современного полимерного материаловедения [1-4].

Основными потребителями трудновоспламеняющихся полимерных материалов, не поддерживающих горение в атмосфере воздуха, являются авиационная промышленность и судостроение, где последствия загорания наиболее опасны. Одним из методов понижения горючести полимеров считается изменение соотношения горючих и негорючих продуктов разложения материала в пользу негорючих. Введение в полимеры наполнителей неорганической природы - один из способов снижения горючести полимерных материалов [1-4].

Наиболее огнестойким полимером с кислородным индексом (КИ=95) является политетрафторэтилен, а наиболее горючими: полиформальдегид (КИ=15,3) и полиэтилен (КИ=17,4). В связи с этим представляет интерес исследование горючести полимерных материалов с низким КИ, содержащих наполнители неорганической природы, в состав которых входит фтор. Известно так же [1-4], что некоторые наполнители полимеров неорганической природы при повышенной температуре разлагаются на компоненты, не поддерживающие горение и даже приводящие к гашению пламени. Такие наполнители не только снижают содержание горючей составляющей материала, но и могут проявлять свойства антипиренов. В большинстве случаев с этой целью используются вещества, разлагающиеся при температурах ниже 673-773 К с поглощением тепла и обычно с выделением паров воды и/или углекислого газа, аммиака - гидроксиды, карбонаты, гидрокарбонаты металлов, аммоний фосфаты и т. п. [1-4].

Классическим примером таких наполнителей является гидроксид алюминия, который нетоксичен и при термическом разложении выше 493 К выделяет лишь пары воды. По-видимому, некоторые соединения, содержащие в своем составе кристаллизационную воду (например, кристаллогидраты солей), могут представлять интерес в качестве наполнителей-антипиренов, т.к. содержат воду в своем составе на 10 % больше, чем гидроксид алюминия. Такие соединения следует отнести к разряду экологически безопасных

наполнителей-антипиренов (ЭНАП).

Цель данной работы - показать возможность понижения горючести типичных термопластичных материалов, главным образом с низким кислородным индексом, путем введения в них дисперсных наполнителей-антипиренов неорганической природы, в особенности экологически безопасных при горении полимерных материалов.

В работе исследовано влияние гидрофторида калия  $[\text{KHF}_2]$ , фторида кальция  $(\text{CaF}_2)$  и кристаллогидратов сульфата цинка  $[\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}]$ , калий-хромсульфата  $[\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ , аммоний-железосульфата  $[\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$  на горючесть полиформальдегида (ПФА), полиэтилена низкого давления (ПЭ), суспензионного поливинилхлорида (ПВХ) марки С-6359 М (ГОСТ-14332-78) и алифатического полиамида (П-66). В качестве объектов исследования служили: ПФА с молекулярной массой  $6,5 \cdot 10^4$ , ПЭ с молекулярной массой  $9,5 \cdot 10^4$ , ПВХ с молекулярной массой  $1,2 \cdot 10^5$  и П-66 с молекулярной массой  $2,1 \cdot 10^4$ , наполненные дисперсными порошками указанных добавок. Наполнители (30-50 об. %) тщательно перемешивались с дисперсными порошками полимеров на шаровой мельнице. Образцы получали методом горячего прессования под давлением 35 МПа в течение 20 минут.

Для испытания относительной горючести полимерных материалов широкое распространение получил метод определения кислородного индекса. Кислородный индекс выражает минимальную объёмную концентрацию кислорода в потоке  $[(4 \pm 1) \cdot 10^{-2} \text{ м/с}]$  смеси кислорода с азотом, необходимую для воспламенения и поддержания устойчивого свечеподобного горения образца в течение  $180 \pm 3$  с или распространения пламени на длину 50 мм в зависимости от того, какое условие выполняется раньше [2]. Для испытания на горючесть используется от 3 до 10 образцов размером  $80 \times 6 \times 3$  мм [1]. Метод отличается высокой воспроизводимостью результатов, предназначен для сравнительной оценки способности полимерных материалов гореть в исследовательских испытаниях и широко используется экспериментаторами во всем мире [4]. Материалы с КИ  $>21$  относят к трудновоспламеняемым, а с КИ  $>27$  попадают в группу самозатухающих на воздухе [2]. Кислородный индекс определяли по ГОСТ 12.1.044-89.

В табл.1 приведены результаты изменения кислородного индекса (горючести) полимерных материалов при введении в них исследованных наполнителей-антипиренов.

Как видно, величина кислородного индекса постепенно возрастает во всех композиционных материалах, в особенности в интервале концентраций введенных наполнителей 40-50 об. %.

Характерно изменение КИ полиформальдегида и полиэтилена при введении в эти полимеры исследованных  $\text{KNF}_2$  и  $\text{CaF}_2$ . Кислородный индекс полимерных материалов (кроме ПЭ+ $\text{CaF}_2$ ) при содержании наполнителей 50 об. % находится в пределах 27,5-30,8, т.е. наблюдается переход горючих легковоспламеняющихся материалов (исходные ПФА и ПЭ с КИ <21) в группу самозатухающих на воздухе с КИ >27. Полиэтилен, содержащий 50 об. %  $\text{CaF}_2$ , имеет КИ=25,4 и относится к трудновоспламеняемым полимерным материалам [2]. Дальнейшее повышение КИ в исследованных полимерных материалах, по-видимому, возможно при увеличении содержания указанных фторидов металлов. Однако, при больших степенях наполнения (свыше 50 об. %) полимерные материалы на основе ПФА и ПЭ, содержащие  $\text{KNF}_2$  и  $\text{CaF}_2$ , становятся слишком хрупкими, их некоторые физико-механические свойства ухудшаются, а переработка в изделия затруднена.

Анализируя табл.1, необходимо отметить следующие факты. Эффективность гидрофторида калия, как антипирена, выше, чем фторида кальция для обоих (ПФА, ПЭ) исследованных полимеров. Возможно, это связано с тем, что  $\text{KNF}_2$  и  $\text{CaF}_2$  имеют различные термические характеристики. Так, гидрофторид калия плавится при температуре 512 К, а разлагается в диапазоне температур 673-773 К. В то же время фторид кальция термически устойчив до 1691 К [5]. Вероятнее всего продукты термического разложения  $\text{KNF}_2$  влияют на повышение кислородного индекса полимеров, т.к. их температуры начала разложения, воспламенения и самовоспламенения лежат в тех же температурных пределах [1, 2].  $\text{CaF}_2$  при этих температурах устойчив, но его присутствие в полимерах стабильно изменяет соотношение горючих и негорючих продуктов распада материалов в пользу негорючих [4], что приводит к увеличению КИ композиционных материалов на основе ПФА и ПЭ.

Обращает на себя внимание тот факт, что эффективность использованных фторидов металлов для увеличения кислородного индекса (снижения горючести) выше в полиформальдегиде, чем в полиэтилене (табл. 1). Такое положение объясняется значительным различием теплот сгорания этих полимеров. По данным работ [2, 3] теплота сгорания полиэтилена в 2,8 раза больше теплоты сгорания полиформальдегида, а потеря тепла от пламени

всегда тем выше, чем больше общая теплота горения полимера [3]. Подобный эффект был замечен в работе [4] при использовании для ПФА и ПЭ в качестве антипирена гидроксида алюминия.

Повышение кислородного индекса ПФА и ПЭ наблюдается также при содержании в полимерах, указанных выше кристаллогидратов (табл. 1), причём ощутимое увеличение КИ происходит после введения в полимеры более 30 об. % кристаллогидратов. Содержание кристаллогидратов в ПФА и ПЭ до 30 об. % повышает КИ не более, чем на 3-5%. Для использованных фторидов металлов наблюдается аналогичный эффект.

**Таблица 1** - Зависимость кислородного индекса полимерных материалов от содержания (φ) наполнителей-антипиренов

Наполнители-антипирены	φ, об.%	ПФА	ПЭ	ПВХ	П-66
		0	15,3	17,4	44,1
KHF <sub>2</sub>	30	21,7	20,8	44,8	25,0
	40	25,1	23,5	47,2	26,5
	50	30,8	28,5	52,0	27,2
CaF <sub>2</sub>	30	17,5	19,7	44,6	25,2
	40	20,4	21,3	46,4	26,8
	50	27,5	25,4	49,1	28,3
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	30	18,5	21,0	45,5	24,3
	40	22,3	26,5	48,1	24,8
	50	31,0	32,5	54,2	25,0
KCr(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O	30	19,1	22,6	44,7	24,5
	40	24,1	27,0	47,6	25,1
	50	32,2	33,3	53,1	25,7

Сопоставляя действие исследованных кристаллогидратов и фторидов металлов на горючесть ПФА и ПЭ, видно, что кристаллогидраты, в особенности калий-хром сульфат, более эффективно влияют на повышение КИ полиэтилена и полиформальдегида, чем фториды металлов (табл. 1). Так, при содержании в ПЭ 40-50 об. % ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O кислородный индекс горения находится в пределах 26,5-32,5, а KCr(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O - в пределах 27,0-33,3.

Горение ПФА при тех же концентрациях кристаллогидратов происходит в интервале значений КИ 22,3-31,0 и 24,1-32,2 соответственно. Исходя из этих значений КИ, самозатухающие материалы на основе ПЭ можно получить вводя в полимер 40 об. % и более кристаллогидрата калий-хром сульфата или 45-50 об. %  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ . Самозатухающие материалы на основе ПФА так же требуют содержания кристаллогидратов 45-50 об. %. Следует заметить, что известно [4] увеличение КИ до 25-26 в полиэтилене, содержащем 60%  $Al(OH)_3$ .

Такой кислородный индекс недостаточен для самозатухания материала, а большое содержание неорганических наполнителей, как указывалось выше, приводит к ухудшению качества композиционных материалов. В работе [6] понижение горючести полиолефинов достигается введением в них негорючих компонентов ( $Al(OH)_3$  + неорганический наполнитель) более 70 %. При этом кислородный индекс полимерных материалов составляет всего 24-25 (т.е. не достигает уровня самозатухающих материалов), а прочность их при растяжении падает в 2,5-3,0 раза и разрушение носит хрупкий характер в сравнении с исходными полимерами.

Наиболее эффективно из исследованных наполнителей-антипиренов для ПФА и ПЭ проявил себя кристаллогидрат  $KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ . Очевидно, это связано с тем, что выделение 43 %  $H_2O$  из кристаллогидрата происходит при температуре 623 К [5]. Воспламенение и самовоспламенение полимеров происходит в диапазоне температур 580-690 К [1, 2]. Таким образом выполняется условие, при котором выделение воды при термическом разложении наполнителя-антипирена не должно заканчиваться до начала разложения полимера [2]. В то же время эффективные наполнители-антипирены должны разлагаться при температуре, не превышающей интенсивного разложения полимерного материала [1]. Такое совпадение температур разложения полимеров и наполнителей-антипиренов, по-видимому, обуславливает наиболее эффективное повышение КИ горения полимеров.

Представляет интерес действие использованных наполнителей-антипиренов неорганической природы на горение полимеров с более высоким КИ, чем у полиформальдегида и полиэтилена, в особенности термопластов, содержащих в своем составе атомы галогенов и азота.

Наиболее крупнотоннажными полимерами указанного состава считаются поливинилхлорид и алифатические полиамиды.

Непластифицированный ПВХ самовоспламеняется на воздухе при



атмосферном давлении при температуре 828 К; кислородный индекс находится в пределах 42-49 % [2]. При воздействии пламени ПВХ горит с выделением большого количества дыма, после удаления пламени на воздухе самозатухает. Наполнители неорганической природы влияют на показатели горючести ПВХ. Наполнители-антипирены типа гидроксида алюминия снижают воспламеняемость и горючесть поливинилхлорида [2]. При этом содержание наполнителя в ПВХ должно быть весьма значительным ( $\approx 70\%$ ).

Сравнивая значения КИ в табл. 1, видно, что горючесть ПВХ несколько снижается в присутствии неорганических наполнителей-антипиренов. Кислородный индекс повышается на 5-10 % в сравнении с исходным ПВХ. Наиболее эффективно на повышение КИ поливинилхлорида влияет кристаллогидрат  $KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ , наименее эффективно  $CaF_2$ . Следует заметить, что эффективность снижения горючести ПВХ в присутствии использованных наполнителей-антипиренов значительно ниже, чем ПФА и ПЭ. Одной из причин такого явления может быть то, что исходный ПВХ имеет КИ значительно больший, чем исходные ПФА и ПЭ (табл. 1). Видно также, что кислородный индекс ПФА почти в 3 раза меньше, чем КИ поливинилхлорида при практически одинаковой теплоте сгорания этих полимеров, 4,0 и 4,3 кКал/г соответственно [2, 3]. Такое различие в значениях КИ полиформальдегида и поливинилхлорида вероятнее всего обусловлено наличием в цепи ПФА кислорода, а в ПВХ - галогена.

Алифатические полиамиды отличаются повышенной горючестью в сравнении с ароматическими полиамидами. Их кислородный индекс достигает величины – 24 % [1], что значительно ниже кислородного индекса ПВХ, но выше значений кислородного индекса ПФА и ПЭ. Для снижения горючести полиамидов могут быть использованы наполнители-антипирены различной природы. В тоже время по сравнению с другими полимерами снизить горючесть полиамидных материалов значительно сложнее - эффективность антипиренов в полиамидах низка, их необходимо вводить в полимеры в большом количестве [2].

Действительно, судя по результатам определения значений кислородного индекса П-66, содержащего 50 об. % исследованных фторидов металлов и кристаллогидратов, приведенных в табл. 1, снижение горючести полиамида в композициях весьма незначительно. Только в присутствии 50 об. % фторидов П-66 достигает уровня самозатухающих полимеров (КИ > 27).

Кристаллогидраты практически не влияют на горючесть этого алифатического полиамида.

По-видимому, использованные в данной работе наполнители-антипирены неорганической природы малоэффективны для снижения горючести ПВХ и совсем непригодны для повышения кислородного индекса П-66. Учитывая, что большое количество неорганических наполнителей ухудшает физико-механические свойства полимерных материалов и затрудняет их переработку в изделия, введение таких наполнителей-антипиренов в ПВХ и П-66 для снижения горючести полимеров можно считать нецелесообразным. Безусловно, использованные в данной работе наполнители неорганической природы не могут быть эффективными универсальными антипиренами для всех классов полимеров.

Понижение горючести полимеров, не увеличивая содержания наполнителей-антипиренов, можно достичь повышая степень дисперсности последних. При этом физико-механические характеристики полимерных материалов не ухудшаются в значительной мере. Такие свойства нами были получены для системы полиэтилен-аммоний-железосульфат в работе [7], в которой наполнитель-антипирен использовался в виде двух фракций: 10-20 мкм и менее 1 мкм. В табл. 2 приведены значения, кислородного индекса, предела прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве полиэтилена, содержащего кристаллогидрат  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ .

**Таблица 2** - Зависимость КИ,  $\sigma_p$  и  $\epsilon_p$  полиэтилена от содержания ( $\varphi$ )  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ : над чертой (частицы 10-20 мкм), под чертой (частицы < 1 мкм)

$\varphi$ , об.%	КИ, %	$\sigma_p$ , МПа	$\epsilon_p$ , %
0	17,4	23,8	690
30	$\frac{20,5}{22,3}$	$\frac{19,8}{21,4}$	$\frac{410}{610}$
40	$\frac{27,1}{30,4}$	$\frac{19,5}{20,5}$	$\frac{390}{572}$
50	$\frac{28,4}{34,5}$	$\frac{18,4}{19,4}$	$\frac{350}{520}$

Из табл. 2 видно, что кислородный индекс ПЭ растет с увеличением содержания кристаллогидрата и повышением степени его дисперсности,

достигая значений в 2 раза больших, чем у исходного полимера.

Прочность и эластичность композиций ПЭ при этом падает, оставаясь на достаточно высоком уровне, в особенности при использовании наполнителя-антипирена с частицами менее 1 мкм. Наибольшая эффективность кристаллогидрата  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  в понижении горючести ПЭ возможно обусловлена не только выделением 45 % воды, но и влиянием на повышение кислородного индекса дальнейшего разложения безводного аммоний железосульфата с выделением паров  $\text{NH}_3$ . Следует заметить, что данные, приведенные в табл. 2, однозначно указывают на перспективность использования в качестве наполнителей антипиренов высокодисперсных кристаллогидратов солей для понижения горючести полимеров с низким кислородным индексом. Причем, введение в полимер высокодисперсного кристаллогидрата до 50 об. % не только ощутимо повышает кислородный индекс композиционного материала, но и весьма незначительно понижает его прочность и эластичность. По-видимому, использование в качестве наполнителей-антипиренов наноразмерных частиц кристаллогидратов солей может значительно расширить ассортимент полимерных материалов с пониженной горючестью и достаточно высокими физико-механическими свойствами.

В некоторых работах [8, 9] для получения самозатухающих композиций на основе полиэтилена создается 9-ти компонентная система, в которую входят редкие и сложные соединения. При этом кислородный индекс ПЭ повышается максимум до 31,2 [9], а полимера в композиции содержится также, как и в данной работе около 50 %. В то же время введение в полиэтилен только гидрофторида калия или кристаллогидратов солей в количестве 50 % позволяет получить кислородные индексы двухкомпонентных систем 28,5 и 32-34,5 соответственно (табл. 1, 2).  $\text{KNHF}_2$  и кристаллогидраты солей не являются редкими и трудносинтезируемыми соединениями, что служит основанием для дальнейшего развития работ по получению полимерных композиций с пониженной горючестью в этом направлении.

Кристаллогидраты солей, как наполнители-антипирены, представляют также значительный интерес с экологической стороны проблемы - снижения горючести полимеров, т.к. при горении последних не выделяются токсичные вещества, а в основном, вода. В особенности это относится к полиформальдегиду, при горении которого выделяется значительное

количество вредных соединений (формальдегид, окись углерода) [2]. Присутствие кристаллогидратов солей в ПФА не только повышает КИ горения полимера более, чем в 2 раза, но и значительно снижает количество выделяющихся вредных веществ, т.к. изменяет соотношение горючих и негорючих продуктов разложения композиционных материалов. Такое действие кристаллогидратов весьма существенно при горении подобных материалов в закрытых помещениях. На основании вышеизложенного кристаллогидраты солей являются одними из перспективных ЭНАПов, понижающих горючесть термопластичных материалов с низким кислородным индексом.

Результаты данной работы следует использовать при создании полимерных композиционных материалов с пониженной горючестью, находящихся всё возрастающее применение в транспортном, дорожном и гражданском строительстве.

#### Литература

1. Кодолов В.И. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов / В.И. Кодолов. - М.: Химия, 1976. - 160 с.
2. Асеева Р.М. Горение полимерных материалов / Р.М. Асеева, Г.Е. Заиков. – М.: Наука, 1981. - 280 с.
3. Копылов В.В. Полимерные материалы с пониженной горючестью / В.В. Копылов, С.Н. Новиков, Л.А. Оксентьевич и др. - М.: Химия, 1986. - 224 с.
4. Берлин А. А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести / А. А. Берлин // Соросовский образовательный журнал. - 1996. - №9. - С. 57-63.
5. Рабинович В.А., Хавин В.Я. Краткий химический справочник / В.А. Рабинович, В.Я. Хавин. - Л.: Химия, 1991. - 432 с.
6. Friedemann R. Flammwidrige, halogenfreie Mischung. - Заявка Германии 19610513 (1997).
7. Гордієнко В.П., Мустяца О.Н. Композиція для отримання полімерних виробів зниженої горючості. - Патент України 91955 (2010).
8. Волков В.П. Принципы получения полиэтиленовых композиций с пониженной горючестью и специальными свойствами / В.П. Волков, А.Н. Зеленецкий, М.Д. Сизова и др. // Пластические массы. - 2006. - №7. - с. 12-19.
9. Волков В.П. Полиэтиленовые композиции с пониженной горючестью / В.П. Волков, А.Н. Зеленецкий, М.Д. Сизова и др. // Пластические массы. - 2007. - №2. - С. 7-13.

#### Рецензенти:

Андрійко О.О., д-р хім. наук, Національний технічний університет України "КПІ".  
Березіна Н.О., канд. хім. наук, Національний транспортний університет.

#### Reviewers:

Andriyko A.A., Dr.Che.Sci, National Technical University of Ukraine "KPI".  
Berezina N.A., Cand. Che. Sci. (Ph.D.), National Transport University

Стаття надійшла до редакції: 16.01.2017 р.