

*К.А. Афанасенко, к.т.н., преподаватель, НУГЗУ,  
А.П. Михайлюк, к.х.н., доцент, профессор каф., НУГЗУ*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ФОРМОВАНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ**

(представлено д.т.н. Киреевым А.А.)

Исследован процесс формования полимеров на примере эпоксиэфирных связующих. Установлено, что линейная скорость распространения пламени по стеклопластикам на основе изученных связующих, с учетом интенсивности пиролитических превращений связующего во время нагрева, зависит от параметров его формования. Разработана регрессионная модель.

**Ключевые слова:** пиролитические превращения, коксообразование, линейная скорость распространения пламени, условия формования.

**Постановка проблемы.** Сегодня для повышения безопасности использования изделий из стеклопластиков к ним выдвигаются достаточно жесткие требования к их эксплуатационным характеристикам, касающиеся, в том числе, и их горючести. В качестве сырьевых материалов (компонентов) при получении связующих для полимерных композиционных материалов (ПКМ) чаще всего используют эпоксидные смолы благодаря широкому диапазону возможности их модификации. Известно, что при производстве стеклопластиков методом автоклавно-вакуумного формования варьируется температура и давление формования, что существенно влияет на физико-химические характеристики конечных изделий [1].

Так, в работах [2, 3] указана связь способов и параметров изготовления полимерных композиционных материалов и их показателей пожарной опасности. Показано, что не только при введении в полимерное связующее наполнителей и антипиренов при изготовлении стеклопластика является возможным получить материал с существенно сниженными показателями пожарной опасности – химическая модификация связующего также дает положительный эффект.

Одной из проблем в данной области является снижение показателей пожарной опасности при применении полимерных связующих различного вида в стеклопластиковых системах в зависимости от условий их изготовления.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Полученные результаты по определению горючести полимеров и композитов на их основе свидетельствуют о существенном влиянии на их горение доли и интенсивности коксообразования [4].

Известно, что интенсивность пиролизических превращения (процесс коксообразования) в полимерном связующем зависят от его структуры и состава, что, в свою очередь влияет на характеристики полимерного композиционного материала. Однако, такое влияние связующего взаимно с армирующим материалом (стекловолокно, стеклоткань, стекломаты и т.д.). Так, в работе [4] указано на влияние состава и условий изготовления полимерного композиционного материала на теплообменные процессы и интенсивность пиролизических превращений в связующем, и, следовательно, на его показатели горючести и скорости распространения пламени. При решении задач снижения показателей пожарной опасности ПКМ, возникает необходимость в рассмотрении влияния параметров изготовления стеклопластиков на их пожарную опасность, а именно – линейной скорости распространения пламени.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью данной работы является определение оптимальных параметров формования стеклопластика на основе эпоксидированных динафтолов для оценки их влияния на линейную скорость распространения пламени.

Для изготовления препрегов (слойпрегов) применяли стеклоткань марки Т-10 (ГОСТ 17653-88), которую перед применением предварительно отжигали при температуре 350°C в термошкафу в течение не менее одного часа. Пропитанные слои стеклоткани кроили вдоль направления преимущественного армирования по размерам технологической оснастки, набирали в пакет и помещали в вакуумный чехол.

Процесс изготовления (формования) ПКМ описан в [5].

Для установления входных параметров формования композита для получения оптимальных значений скорости распространения пламени проведено планирование полного факторного эксперимента со следующими параметрами (табл. 1).

**Табл. 1. Кодирование факторов эксперимента**

Интервал варьирования и уровень факторов	Давление ( $x_1$ ), МПа	Температура ( $x_2$ ), °C
Нулевой уровень $x_i = 0$	0,4	140
Интервал варьирования $\delta_i$	0,2	20
Нижний уровень $x_i = -1$	0,2	120
Верхний уровень $x_i = +1$	0,6	160
Звездные точки max	0,6	160
Звездные точки min	0,2	120

При этом определение величины температуры воспламенения проводилось в соответствии с ГОСТ 12.1.044-89\* «ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».

Значение скоростей распространения пламени определяли, как среднее значение по результатам трех испытаний для каждой точки.

На основе полученных экспериментальных данных построена рег-

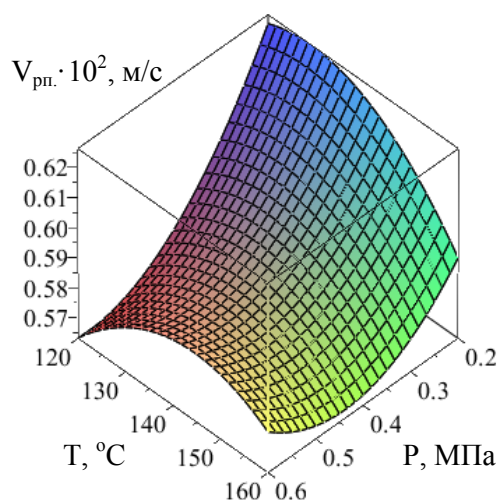
рессионная модель зависимости линейной скорости распространения пламени по стеклопластику на основе эпоксицированного динафтола от параметров формования (рис. 1).

По результатам проведенных исследований составлено уравнение регрессии зависимости линейной скорости распространения пламени по стеклопластику на основе эпоксицированного динафтола от давления и температуры формования:

$$V_{\text{р.п.}} = 0,1538 - 0,835 \cdot P + 0,009 \cdot T + 0,0029 \cdot PT + 0,4175 \cdot P^2 - 0,00004 \cdot T^2, \quad (1)$$

где  $T_{\text{воспл.}}$  – температура воспламенения полимерного композиционного материала;  $P$  – давление формования;  $T$  – температура формования.

Графическая интерпретация уравнения регрессии представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Зависимость линейной скорости распространения пламени по стеклопластику на основе эпоксицированного динафтола от условий формования**

Путем решения системы уравнений частных производных  $\frac{\partial V_{\text{р.п.}}}{\partial P}$  и  $\frac{\partial V_{\text{р.п.}}}{\partial T}$  (2) найден экстремум функции.

$$\begin{cases} \frac{\partial V_{\text{р.п.}}}{\partial P} = 0,835 + 0,0029 \cdot T + 0,835 \cdot P = 0; \\ \frac{\partial V_{\text{р.п.}}}{\partial T} = 0,009 + 0,0029 \cdot P - 0,00008 \cdot T = 0. \end{cases} \quad (2)$$

В результате решения системы уравнений найден экстремум функции в точке  $V_{\text{р.п. min}}|_{P=0,2; T=120} = 0,562 \cdot 10^2 \text{ м/с}$ .

Анализ рис. 1 показывает, что минимальные значения линейной скорости распространения пламени по стеклопластику могут находиться за пределами исследованной области параметров формования.

**Выводы.** На примере стеклопластика на основе эпоксидированного динaftола показано влияние температуры и давления при автоклавно-вакуумном способе формования (изготовления) на изменение значений линейной скорости распространения пламени по поверхности полимерного композиционного материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Принципы создания композиционных полимерных материалов / А.А. Берлин, А.А. Вольфсон, В.Г. Ошмян, Н.С. Ениколопов. – М.: Химия, 1990. – 240с.

2. Афанасенко К.А. Снижение показателей пожарной опасности полимерных композиционных материалов путем применения связующих, склонных к карбонизации [Елестронний ресурс] / К.А. Афанасенко, П.А. Билым, А.П. Михайлюк // Проблемы пожарной безопасности. – 2013. – Вып. 34. – С. 12-17. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol34/afanasenko.pdf>.

3. Грасси Н. Деструкция и стабилизация полимеров / Н. Грасси, Дж. Скотт, пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 446 с.

4. Тужиков О.И., Хохлова Т.В., Бондаренко С.Н. Эластомеры и пластики с пониженной горючестью. Волгоград: ВолгГТУ. – 2005. – 214 с.

5. Афанасенко К.А. Исследование влияния применения коксующихся полиэпоксидных связующих для стеклопластиков на кислородный индекс в условиях автоклавно-вакуумного формования. [Елестронний ресурс] / К.А. Афанасенко, П.А. Билым, А.П. Михайлюк // Проблемы пожарной безопасности. – 2016. – Вып. 39. – С. 19-23. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol39/afanasenko.pdf>.

*Получено редколлегией 10.10.2017*

К.А. Афанасенко, О.П. Михайлюк

**Оцінка впливу умов формування склопластиків на основі поліепоксидних зв'язуючих на зміну лінійної швидкості розповсюдження полум'я**

Досліджений процес формування полімерів на прикладі епоксинафтiлових зв'язуючих. Установлено, що швидкість поширення полум'я по склопластикам на основі вивчених зв'язуючих, з урахуванням інтенсивності піролітичних перетворень зв'язуючого під час нагріву, залежить від параметрів його формування. Розроблена регресійна модель.

**Ключові слова:** піролітичні перетворення, лінійна швидкість поширення полум'я, умови формування.

K. Afanasyenko, A. Mikhailuk

**Change of linear flame spread speed on FRP depend of under autoclave-vacuum forming**

The Example of forming process polymers epoxynaphtyl binders. It was established that the linear speed of flame spread of GRP based on examination of the relationship, taking into account the intensity of pyrolytic reactions of the binder during heating depends on the molding parameters.

**Keywords:** pyrolytic conversion, coke, flame spread speed, forming conditions.