

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

АФАНАСЕНКО КОСТЯНТИН АНАТОЛІЙОВИЧ



УДК 614.84

**ЗНИЖЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ СКЛОПЛАСТИКІВ
НА ОСНОВІ ПОЛЕПОКСИДНИХ ЗВ'ЯЗУЮЧИХ, ЩО КОКСУЮТЬСЯ,
ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ФОРМУВАННЯ**

Спеціальність 21.06.02 – пожежна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному Університеті цивільного захисту України, ДСНС України, м. Харків.

Науковий керівник: кандидат хімічних наук, доцент **Михайлюк Олександра Петрівна**, Національний університет цивільного захисту України, професор кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Гивлюд Микола Миколайович**, Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри будівельного виробництва;

кандидат технічних наук, доцент, **Саєнко Наталія В'ячеславівна**, Харківський Національний університет будівництва та архітектури, доцент кафедри загальної хімії.

Захист відбудеться «19» січня 2017 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.707.01 в Національному університеті цивільного захисту України за адресою: 61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету цивільного захисту України за адресою: 61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94.

Автореферат розіслано «16» грудня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



А.О. Михайлюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. До сучасних поширених полімерних матеріалів відносяться склопластики, що знайшли широке застосування у будівельній індустрії як несучі та огорожуючі конструкції, у авіаційній промисловості, машинобудуванні в якості конструктивних елементів літаків, автомобілів, кораблів тощо.

Разом із позитивними властивостями, такими як довговічність, питома міцність, теплоізоляційні і діелектричні характеристики, корозійна стійкість, технологічність обробки і виробництва, склопластик є горючим і в більшості випадків досить небезпечним матеріалом, що обумовлює підвищену пожежну небезпеку об'єктів з наявністю цього композиту.

Саме горючість є лімітуючим фактором, що обмежує подальше застосування цих матеріалів, особливо на об'єктах, які пов'язані з великими потоками людей чи з високою швидкістю переміщення об'єкта, що сприяє швидкому поширенню пожежі і ускладнює її ліквідацію. При цьому горючість, як комплексна характеристика, що визначає здатність матеріалу загорятися, підтримувати та розповсюджувати процес горіння, визначається наступними показниками пожежної небезпеки (ППН):

- 1) температура спалахування та/або самоспалахування;
- 2) швидкість вигорання та поширення полум'я по поверхні;
- 3) параметри, що використовуються при розробці полімерних матеріалів та склопластиків на їх основі і характеризують умови, за яких можливе самостійне горіння, насамперед, кисневий індекс.

Питаннями підвищення пожежної безпеки полімерних матеріалів та склопластиків на їх основі присвячено багато робіт, серед яких слід виділити роботи Асєєвої Р.М., Берліна О.О., Гивлюда М.М., Драйздеа Д., Полежаєва Ю.В., Саєнко Н.В., Тростянської О.Б., Халтуринського М.О., Яковлевої Р.А. та ін.

Серед відомих способів підвищення пожежної безпеки склопластиків необхідно відзначити використання у склопластикових системах поліефірних та епоксидних (більш технологічних) зв'язуючих, схильних до більш інтенсивного коксоутворення під час термодеструкції.

Також на показники пожежної небезпеки та міцнісні характеристики полімерних композиційних матеріалів певний вплив мають умови та параметри виготовлення (формування) виробу з цих матеріалів.

Аналіз робіт за даною тематикою дозволив встановити основні методи зниження ППН полімерних композиційних матеріалів:

1. синтез важкогорючих полімерів;
2. хімічна модифікація полімерів;
3. застосування антипіренів та/або наповнювачів;
4. нанесення вогнезахисних покриттів.

При виробництві сучасних композитів основна увага приділяється саме вказаним методам. Але відомо, що при введенні в полімерні матеріали антипіренів або наповнювачів погіршуються фізико-механічні властивості композиційної системи (що є принциповим для композитів), а нанесення вогнезахисних покриттів призводить до додаткових технологічних та фінансових витрат. Тому одним із перспективних методів зниження рівня пожежної небезпеки полімерних композиційних матеріалів є застосування у композиційній системі нових негорючих (із зниженою горючістю) полімерів в процесі їх виробництва (формування).

Таким чином, не зважаючи на широке використання склопластиків та подальшу перспективність їх використання, зниження пожежної небезпеки склопластиків на основі поліепоксидних зв'язуючих в процесі їх формування є актуальною науково-практичною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася на кафедрі пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій Національного університету цивільного захисту України (НУЦЗ України) у рамках Державної програми забезпечення пожежної безпеки в Україні на 2000 - 2010 р.р., а також у рамках науково-дослідної роботи "Розробка і дослідження вогнезахисних зв'язуючих, схильних до карбонізації" (держ. реєстраційний номер – 0107U003091), в якій автор приймав участь у якості виконавця.

Мета й завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є зниження ППН склопластиків на основі поліепоксидних зв'язуючих, що коксуються, за рахунок оптимізації параметрів формування.

Відповідно до поставленої мети дисертаційної роботи були сформульовані наступні задачі дослідження:

- ◆ аналіз застосування склопластикових матеріалів, вивчення їх ППН та способів їх зниження;
- ◆ обґрунтування вибору та отримання модифікованих поліепоксидних зв'язуючих, що вміщують зв'язані ароматичні ядра, які дозволяють знизити ППН в умовах розвитку пожежі;
- ◆ дослідження процесів горіння та вигорання, температури спалахування запропонованих склопластикових систем, а також розробка регресійної моделі залежності температури спалахування склопластикової системи від умов формування;
- ◆ розробка регресійної моделі залежності кисневого індексу склопластикової системи на основі запропонованих поліепоксидних зв'язуючих в залежності від умов формування;
- ◆ дослідження та оцінка процесу руйнування і розміцнення, а також розробка регресійної моделі залежності міцнісних характеристик склопластикової системи на основі запропонованих поліепоксидних зв'язуючих в залежності від умов формування;
- ◆ ідентифікація оптимальних значень показників пожежної небезпеки склопластиків, що досліджуються. Оптимізація параметрів формування та розробка рекомендацій щодо виготовлення нових полімерних композиційних матеріалів (на основі епоксидованих дінафтолів) з покращеними міцнісними характеристиками і показниками пожежної небезпеки та порівняння отриманих значень з промисловими аналогами.

Об'єкт дослідження – вплив умов формування склопластиків на основі поліепоксидних зв'язуючих на їх показники пожежної небезпеки.

Предмет дослідження – оптимальні умови формування склопластиків на основі поліепоксидних зв'язуючих, що забезпечують екстремальні значення показників пожежної небезпеки.

Методи дослідження. Для досягнення мети і розв'язання поставлених завдань були використані теоретичні та експериментальні методи досліджень: математичне

моделювання впливу температури на полімерні матеріали, регресійний аналіз, чисельні методи оптимізації, методи планування експерименту, методи ІЧ-спектроскопії, методи динамічних міцнісних випробувань, методи експериментального визначення теплофізичних параметрів полімерних матеріалів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в зниженні ППН при застосуванні в склопластикових системах зв'язуючих на основі епоксидованих дінафтолів в залежності від параметрів формування, а саме:

- вперше отримано комплекс математичних моделей щодо опису показників пожежної небезпеки склопластиків на основі епоксидованих дінафтолів та їх міцнісних характеристик у залежності від умов формування, який дозволив ідентифікувати оптимальні умови формування за критерієм максимального значення суми відносних величин кисневого індексу, температури спалахування та міцності композиту;
- вперше встановлено, що підвищення температури спалахування склопластику на основі епоксидованого дінафтолу обумовлюється інтенсивністю проходження піролітичних перетворень на початковій стадії розвитку стандартної пожежі;
- подальший розвиток отримав метод зниження ППН склопластиків шляхом хімічної модифікації поліепоксидного зв'язуючого у склопластиковій системі дінафтолами з інтенсивним коксоутворенням при їх термічному розкладанні;
- удосконалено методи визначення закономірності втрати міцності і руйнування конструкційних склопластиків на основі поліепоксидних зв'язуючих в умовах розвитку і припинення пожежі. Визначено характеристики впливу структурних перетворень в полімерній матриці та її часткового піролізу на довговічність запропонованого склопластику.

Практичне значення отриманих результатів.

Отримані в роботі результати експериментальних досліджень з визначення температури спалахування, кисневого індексу, міцності, лінійної швидкості поширення полум'я та масової швидкості вигорання, а також розроблені на їх основі математичні моделі дозволяють запропонувати склопластики на основі епоксидованого дінафтолу з заданими характеристиками як по міцності, так і по ППН, що перевищують промислові аналоги на величину 6,5-48,5%.

Результати роботи впроваджені на ТОВ «Склопластикові труби» (м. Харків) для використання в якості основи зв'язуючого при виробництві склопластикових погонажних виробів, що виконують функцію конструкційних виробів – несучих опорних елементів для гірничо-шахтного будівельного обладнання.

Алгоритм експериментальних досліджень та отримані математичні моделі з розрахунку ППН склопластиків впроваджені в навчальний процес НУЦЗ України при викладанні дисципліни «Пожежна профілактика технологічних процесів».

Особистий внесок автора. Дисертація є самостійною роботою автора. У публікаціях, написаних у співавторстві, авторові належать: узагальнення результатів по дослідженню довговічності [4], тривалій міцності [7], а також причин втрати міцності і руйнуванню полімерних композитів при вогневих випробуваннях [3, 9, 10, 14], внесення пропозицій відносно отримання і застосування епоксидованих дінафтолів як основи зв'язуючого для армованих пластиків [11], створення методики проведення досліджень і аналізу їх результатів, побудова алгоритму математичної моделі отримання (формування) склоармованого

композиту [12], постановка задачі дослідження і аналіз механізму структуризації зв'язуючого композиту [1, 5, 6] і горючості в умовах розвитку пожежі [3, 8].

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати роботи доповідалися та обговорювалися на: науково-практичній конференції «Пожежна безпека та охорона праці» (м. Черкаси, Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля, 14.05.2008 р.); XXIV Міжнародній науково-практичній конференції з проблем пожежної безпеки, присвяченої 75-річчю створення інституту (м. Москва, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 3-4 липня 2012 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации» (м. Гомель, Гомельський інженерний інститут МНС Республіки Білорусь, 22-23 травня 2014 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Забезпечення пожежної та техногенної безпеки» (м. Харків, НУЦЗ України, 30-31 жовтня 2014 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Забезпечення пожежної та техногенної безпеки» (м. Харків, НУЦЗ України, 29-30 жовтня 2015 р.).

У повному обсязі результати роботи були розглянуті на наукових семінарах кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій НУЦЗ України (2006-2016 р.р.) і на науково-технічних семінарах НУЦЗ України (2006-2016 р.р.).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані в 10 статтях у спеціалізованих наукових виданнях України, двох статтях у іноземних виданнях і 5 доповідях на міжнародних і національних наукових конференціях.

Структура й об'єм роботи. Дисертація складається зі вступу, п'ятих розділів, висновків, списку використаних джерел і додатка. Загальний об'єм дисертації становить 165 сторінки, основний текст – 149. Дисертація містить 47 рисунків, 24 таблиці і 141 найменування використаних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У *першому розділі* проведено аналіз використання склопластикових систем. Показано, що ринок склопластиків на основі полімерних зв'язуючих 2009-2015 р.р. виріс на 75 % (рис. 1) та складає близько 1,2 мільйона тон на рік.

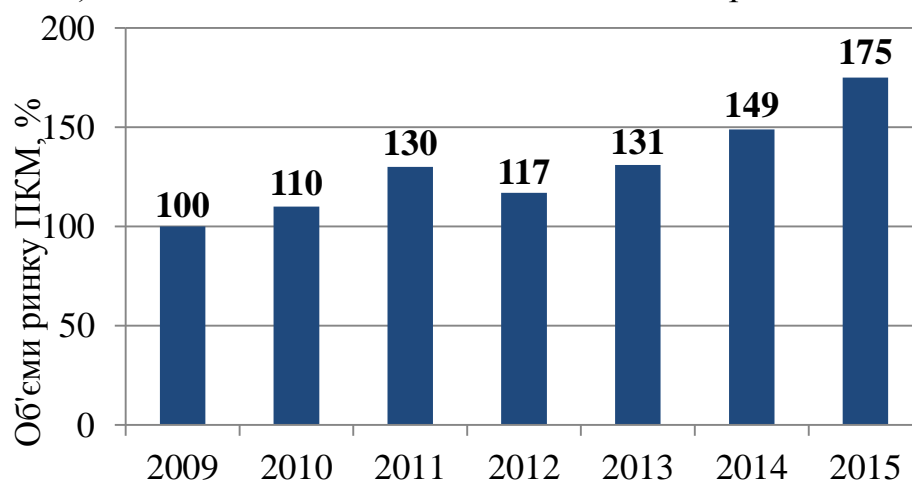


Рис. 1. Динаміка ринку склопластиків

Розглянуто перспективи використання склопластиків. З'ясовано, що однією з перепон до їх широкого використання є пожежна небезпека цих матеріалів.

Досліджено питання зниження пожежної небезпеки склопластиків та показано, що досягнення цього можливе за рахунок зниження ППН. Основними методами зниження ППН є: синтез негорючих полімерів, хімічна модифікація полімерів, застосування антипіренів, застосування наповнювачів, нанесення вогнезахисних покриттів.

З'ясовано, що основні дослідження в сфері зниження ППН полімерних матеріалів базувалися на принципах зниження їх горючості та підвищення теплоізолюючої здатності із запропонованим модифікації полімерної основи склопластиків. Але розгляду питання ППН безпосередньо склопластикової конструкції в умовах розвитку пожежі достатньо уваги не приділялося.

При розгляді вказаних методів з'ясовано (рис. 2), що ефект використання наповнювачів проявляється при їх кількості 50-90%. Це дозволяє збільшити значення кисневого індексу в 2-3,5 рази (Берлін О.О.).

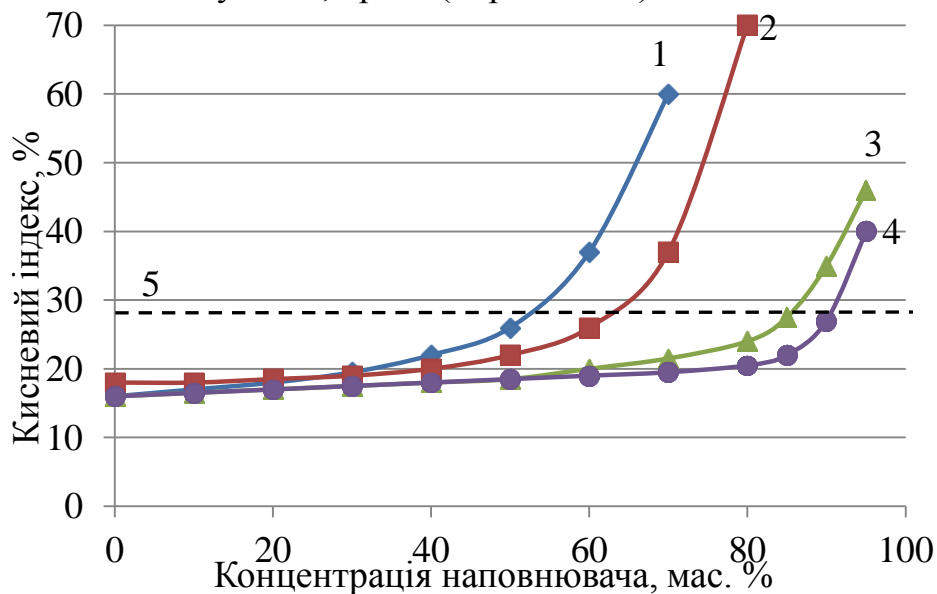


Рис. 2. Залежність горючості (KI) поліоксиметилену (1, 3) і поліетилену (2, 4) від концентрації $\text{Al}(\text{OH})_3$ (1, 2) Al_2O_3 (3, 4). 5 – границя «самозагасання» (KI=27)

Однак, використання таких концентрацій наповнювачів або антипіренів призводить до зниження міцнісних характеристик зв'язуючих на 25-40% (що є принциповим при їх використанні в склопластикових системах) (Берлін О.О.).

Аналіз показав, що для полімерних матеріалів із підвищеним рівнем коксового залишку характерне підвищене значення кисневого індексу, який є одним з основних ППН полімерних матеріалів.

Для обґрунтування вибору зв'язуючих для склопластикових систем із зниженими ППН, а також для з'ясування їх основних характеристик були розглянуті основні традиційні полімерні зв'язуючі (табл. 1).

За результатами аналізу встановлено, що в умовах розвитку пожежі основними критеріями вибору зв'язуючого для вогнестійких склоармованих композитів є інтенсифікація піролітичних перетворень (коксоутворення) та зниження часового інтервалу, при якому матеріал знаходиться у вискоеластичному (розм'якшеному) стані.

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики та деякі показники горючості відомих зв'язуючих для вогнестійких склопластиків на їх основі

Полімерне зв'язуюче	Руйнуюче напруження, МПа*			T _{дестр} , °C	КІ, %	T _{сп.} , °C
	розтяг	стиснення	вигин			
Традиційні зв'язуючі						
Фенолоформальдегідна резольна смола + уротропін (прискорювач отвердження)	<u>47</u> 85	<u>120</u> 160	<u>70</u> 280	240	<u>26</u> 31	470
Епокситрифенольна смола + ТЕАТ (отверджувач)	<u>70-90</u> 350	<u>190</u> 140	<u>50-70</u> 350	245	<u>24</u> 28	460
Кремніорганічна смола + дізоціанат (отверджувач)	<u>30</u> 110	<u>30</u> 70	<u>50</u> 120	270	<u>21,5</u> 24	440
Модифіковані вогнестійкі (із зниженою горючістю) зв'язуючі						
Епоксифенольне зв'язуюче + фенілфосфонова кислота + отверджувач – фенольна смола	<u>50</u> 165	<u>120</u> 140	<u>60</u> 290	-	<u>27</u> -	-
Епоксифенольне зв'язуюче + блоксополімер (поліетиленоксиду та сополімеру етилену и пропілену) + отверджувач – фенольна смола	<u>90</u> 210	-	<u>55</u> 220	-	<u>27</u> -	-
Модифікований епоксидний олігомер УП-3148 (ЕХД) + фенольна смола резольного типу СФ-314(А) – отверджувач	<u>70</u> 300	<u>95</u> 330	<u>60</u> 350	220	<u>27</u> 30	480
Суміш олігомерів: епоксидіановий ЕД-20 + УП-631 (продукт конденсації епіхлоргідрини з тетрабромдифенілолпропаном) + отверджувач – фенольна смола новолачного типу (СФ-010)	<u>65</u> 330	<u>90</u> 250	<u>55</u> 280	230	<u>27</u> 28	470- 510
Зв'язуючі, що пропонуються						
Зв'язуючі на основі епоксидованих дінафтолів						
4, 4 [\] - дігліциділовий ефір - 1, 1 [\] - дінафтолу	2, 2 [\] - дігліциділовий ефір - 1, 1 [\] - дінафтолу	4, 4 [\] - дігліциділовий ефір - 1, 1 [\] - дінафтолметілу				

* - в чисельнику вказані значення величин блочною зв'язуючого, в знаменнику – при використанні його в склопластиковій системі;

T_{дестр} – температура деструкції полімерного зв'язуючого (втрати маси – 10%);

T_{сп.} – температура спалахування;

КІ – кисневий індекс, %;

На основі проведеного аналізу зроблено висновок про необхідність використання модифікованих епоксидних олігомерів, синтезованих на основі епоксидованого дінафтолу, ствердженого фенольною смолою новолачного типу. В результаті цього в матеріалі будуть реалізовані термохімічні перетворення, характер яких забезпечить протікання на низькотемпературній стадії інтенсивних піролітичних перетворень при мінімальному прояві високоеластичності. Протікання цих процесів повинно привести до зниження ряду ППН та збереження несучої здатності конструкцій з цих матеріалів. Сформульована задача наукових досліджень.

У *другому розділі* проведено аналіз ППН полімерних матеріалів. Показано, що основними показниками пожежної небезпеки для склопластиків являються:

- кисневий індекс;
- температура спалахування;
- швидкість розповсюдження полум'я.

Для основних ППН та показника міцності, як одного із ключових для споживача, розглянуто стандартизовані методи експериментальних досліджень.

За результатами проведеного аналізу виділені основні методи досліджень пожежонебезпечних, фізико-хімічних та пружно-міцнісних характеристик полімерних зв'язуючих та склопластиків на їх основі. Побудовано алгоритм вибору параметрів формування склопластикових систем із зниженою горючістю, основні етапи якого наведено на рис. 3.



Рис. 3. Алгоритм вибору параметрів для формування склопластикових систем із зниженою горючістю

Відповідно до наведеного алгоритму за результатами термогравіметричного аналізу (аналізу кількості коксового залишку при термічній деструкції полімерного зв'язуючого) проведено обґрунтування вибору з групи ізомерів епоксидованих дінафтолів дігліциділового ефіру 4,4' - діокси - 1,1' - дінафтілу.

Термогравіметричний аналіз проводився у відповідності до ГОСТ 29127-91 «Пластмассы. Термогравіметричний аналіз полімерів. Метод сканування по температурі». Термогравіметричний аналіз показав, що в результаті термічної деструкції 4,4' - дігліциділового ефіру - 1,1' - дінафтолу утворюється 22% коксового залишку (рис. 4).

Порівняння з кількісним виходом коксового залишку його ізомерів дозволило виділити запропоноване зв'язуюче для подальшого дослідження.

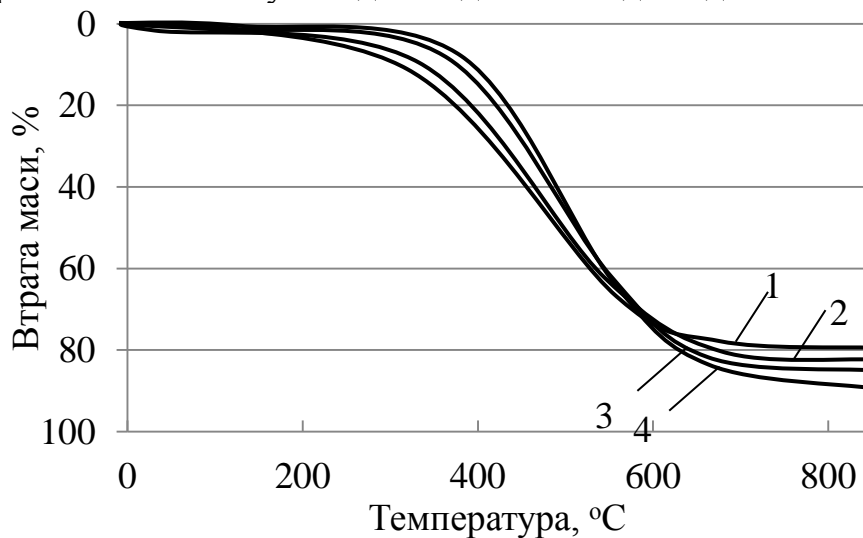


Рис. 4. Втрата маси зв'язуючого при лінійному нагріві зі швидкістю 10 °C/хв.: 1 – 4,4' - дігліциділовий ефір - 1,1' - дінафтолу; 2 – бромвмісна епоксидна система; 3 – 2,2' - дігліциділовий ефір - 1,1' - дінафтолу; 4 – 4,4' - дігліциділовий ефір - 1,1' - дінафтолметілу

Визначено, що для встановлення оптимальних параметрів формування, відповідно до наведеного алгоритму (рис. 3), слід отримати комплекс математичних моделей з залежності трьох параметрів від умов формування:

$$T_{cn.} = f_1(P, T); \quad (1)$$

$$KI = f_2(P, T); \quad (2)$$

$$\sigma = f_3(P, T), \quad (3)$$

де σ – міцність на вигин, МПа; P – тиск формування, МПа; T – температура формування, °C.

З метою ідентифікації математичних моделей (1)-(3) було заплановано проведення ряду експериментальних досліджень щодо впливу параметрів формування на ППН. При цьому було використано центральне композиційне ортогональне планування другого порядку. Алгоритм проведення досліджень наведений на рис. 5.

Аналіз процесів виготовлення склопластикових виробів на основі епоксидних олігомерів, стверджених фенольними смолами, дозволив визначити граничні

значення параметрів формування склопластиків, а саме температуру та тиск при формуванні автоклавно-вакуумним способом.

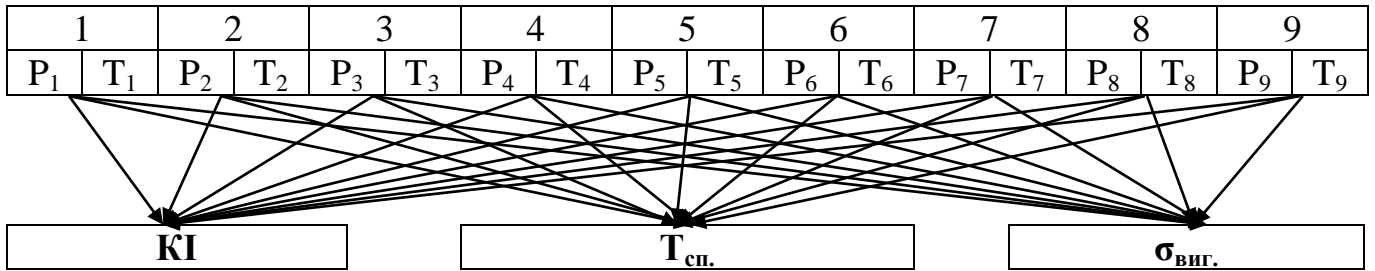


Рис. 5. Алгоритм проведення експериментальних досліджень

Для проведення експериментальних досліджень було виконано кодування факторів експерименту. Значення факторів, рівнів варіювання, а також зіркових точок наведені в табл. 2

Таблиця 2

Кодування факторів експерименту

Інтервал варіювання та рівень факторів	Тиск (x_1), МПа	Температура (x_2), °C
Нульовий рівень $x_i = 0$	0,4	140
Інтервал варіювання δ_i	0,2	20
Нижній рівень $x_i = -1$	0,2	120
Верхній рівень $x_i = +1$	0,6	160
Зіркові точки max	0,6	160
Зіркові точки min	0,2	120

В процесі експериментальних досліджень використовувалося сертифіковане обладнання (ваги електронні ICS449, термopари типу ТХА, термометри, секундоміри, газовий аналізатор «МИК-М» тощо).

В третьому розділі проведено експериментальні дослідження параметрів горючості запропонованих композиційних матеріалів. Для цього була побудована план-матриця експерименту (табл. 3) та відповідно до параметрів експерименту (табл. 2) отримано функції відгуку для температури спалахування.

Таблиця 3

Центральне композиційне ортогональне планування другого порядку

Дослід		x_1	x_2	$x_1^2 - 2/3$	$x_2^2 - 2/3$	$x_1 \cdot x_2$	$y, (T_{сп.})$
Планування типу 2	1	-1	-1	1/3	1/3	+1	520
	2	+1	-1	1/3	1/3	-1	510
	3	-1	+1	1/3	1/3	-1	515
	4	+1	+1	1/3	1/3	+1	520
Зіркові точки	5	-1	0	1/3	- 2/3	0	540
	6	+1	0	1/3	- 2/3	0	550
	7	0	-1	- 2/3	1/3	0	555
	8	0	+1	- 2/3	1/3	0	550
Нульова точка	9	0	0	- 2/3	- 2/3	0	560

При цьому визначення величини температури спалахування проводилось у відповідності до ГОСТ 12.1.044-89* «ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения» методом послідовних наближень (табл. 4). Значення температури спалахування визначалося як середнє між двома величинами в нижньому значенні якого спалахування не відбувалося, а в верхньому – відбувалося.

Таблиця 4

Послідовність ітерацій при визначенні температури спалахування

№ досліду	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	300	400	500	600	550	525	515	515	515	525	525	-
9	300	400	500	600	550	575	565	555	555	555	565	565

За отриманими експериментальними даними побудовано регресійну модель залежності температури спалахування склопластику на основі епоксидованого дінафтолу від параметрів формування (тиск в автоклаві та температура формування композиційного матеріалу) (рис. 6):

$$T_{cn} = -465,391 + 452,5 \cdot P + 13,442 \cdot T + 0,875 \cdot PT - 716,667 \cdot P^2 - 0,0492 \cdot T^2. \quad (4)$$

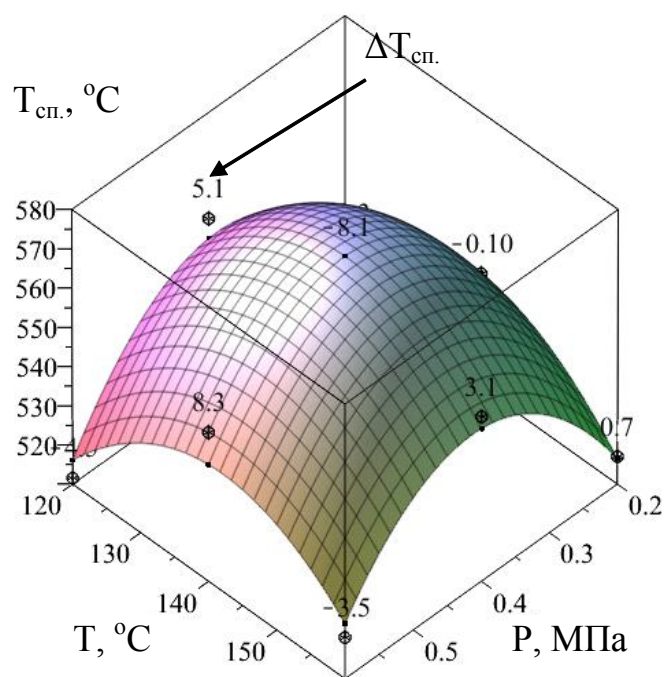


Рис. 6. Залежність температури спалахування склопластику від умов формування: P – тиск формування композиційного матеріалу, T – температура в автоклаві

Перевірка моделі (4) за критерієм Фішера показала, що вона адекватно описує експериментальні дані.

З метою пошуку екстремуму функції (максимального значення температури спалахування) шляхом знаходження часткових похідних функції T_{cn} по параметрах P і T отримано систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial T_{cn}}{\partial P} = 452,5 + 0,875 \cdot T - 716,668 \cdot P = 0; \\ \frac{\partial T_{cn}}{\partial T} = 13,441 + 0,875 \cdot P - 0,049 \cdot T = 0. \end{cases} \quad (5)$$

В результаті розв'язання системи рівнянь (5) знайдено екстремум функції T_{cn} в точці $T_{cn, \max}|_{P=0,4013; T=140,3} = 568,1$ °C.

Аналіз рис. (6) показує, що значення ΔT_{cn} , яке характеризує різницю між експериментальними значеннями і значеннями відповідно до регресійної моделі (4), не перевищує $8,1$ °C або $1,5$ %.

Визначення величини кисневого індексу зразків склопластику проводилося у відповідності до ГОСТ 21793-76 «Пластмассы. Метод определения кислородного индекса» на експериментальній установці (рис. 7).

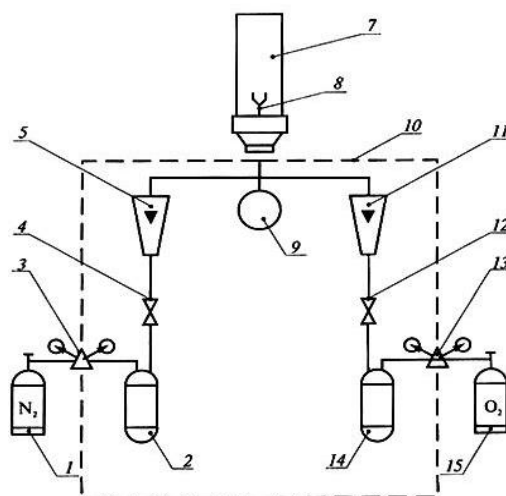
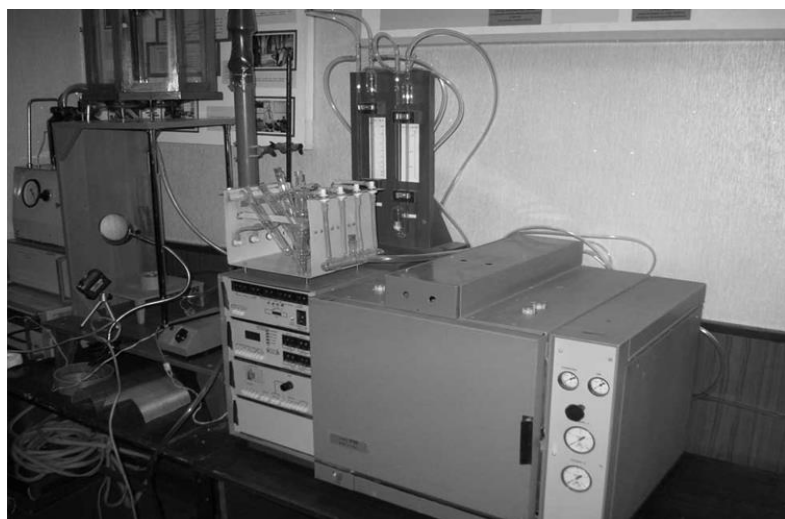


Рис. 7. Зовнішній вигляд та принципова схема установки для визначення кисневого індексу, лінійної швидкості поширення полум'я та газохроматографічного аналізу параметрів піролізу матеріалу: 1, 15 – балон с азотом та киснем; 3, 13 – редуктори; 2, 14 – демпфери; 4, 12 – вентилі запірні голчаті; 5, 11 – ротаметри; 6 – джерело запалювання (пальник); 7 – реакційна камера; 8 – тримач зразку; 9 – газовий аналізатор; 10 – блок приготування киснево-азотної (киснево-повітряної) суміші

В розділі із застосуванням експериментальних даних побудовано регресійну модель залежності кисневого індексу склопластику на основі епоксидованого дінафтолу від параметрів формування P , T (рис. 8):

$$KI = -109,1926 + 18,4785 \cdot P + 1,9448 \cdot T + 0,0594 \cdot PT - 65,2075 \cdot P^2 - 0,007 \cdot T^2. \quad (6)$$

Екстремум функції KI (6) в діапазоні зміни параметрів P , T , згідно табл. 2, складає $KI_{\max}|_{P=0,3806; T=140,1}=30,6\%$.

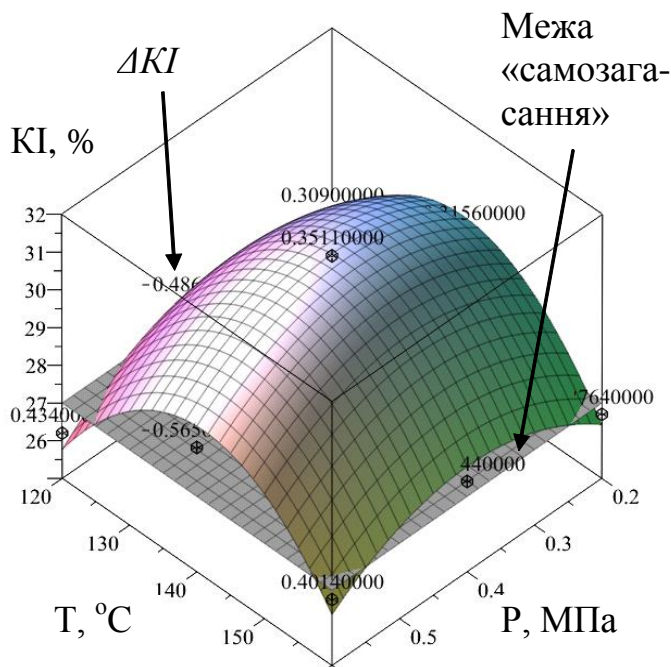


Рис. 8. Залежність кисневого індексу склопластику від умов формування

Аналіз рис. 8 показує, що значення ΔKI , яке характеризує різницю між експериментальними значеннями і значеннями відповідно до регресійної моделі (6), не перевищує 0,351%, або ж у відносних одиницях 1,1%. Крім того слід відмітити,

що майже в 97% області значень P і T величина кисневого індексу вище межі самогасання.

У четвертому розділі проведено дослідження міцнісних характеристик запропонованих склопластиків під час дії пожежі та після припинення температурного впливу.

Для дослідження пружно-міцнісних характеристик розроблена та сконструйована експериментальна установка на базі динамічної дилатометричної комірки та малогабаритної стендової печі (рис. 9).

При проведенні досліджень динамічного модуля зсуву встановлено, що при нагріві відбувається його зниження. Швидкість зниження залежить від режиму нагріву. При зростанні температури за режимом стандартної пожежі (рис. 10) існує виражений інтервал зростання значень модуля, що демонструє збереження міцнісних характеристик склопластику під час впливу пожежі.

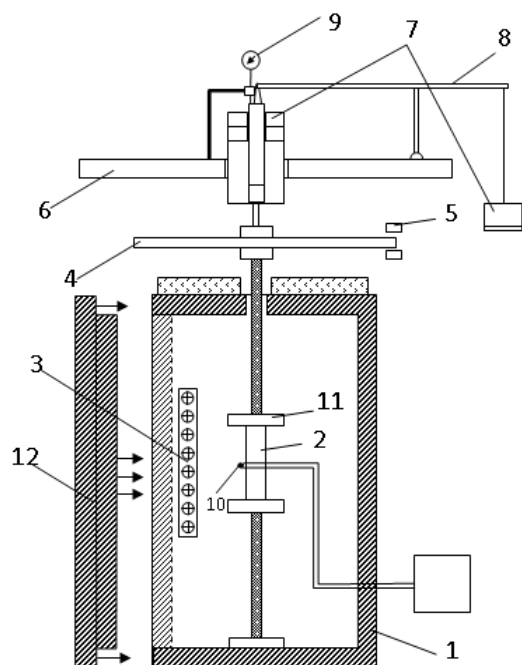


Рис. 9. Експериментальна установка на базі динамічної дилатометричної комірки: 1 – піч; 2 – зразок склопластику; 3 – газовий пальник; 4 – торсіон; 5 – електромагніт; 6 – опорна плита; 7 – вантажі; 8 – коромисло; 9 – мікрометр; 10 – термопара; 11 – кріплення; 12 – кришка печі

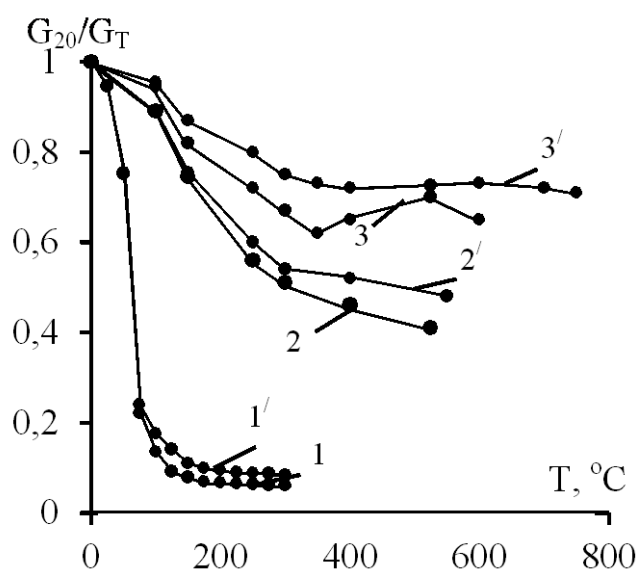


Рис. 10. Температурна залежність динамічного модуля зсуву при лінійному нагріві – 1, 1' та в режимах розвитку пожежі: 2, 2' – що повільно розвивається та 3, 3' – стандартної. Склопластик на основі: бромвмісного зв'язуючого – (криві 1, 2, 3) та епоксидованого дінафтолу – (криві 1', 2', 3')

Встановлено, що при використанні в якості полімерної основи епоксидних олігомерів із зв'язаними ароматичними кільцями можливе збереження до 60% запасу тривалої міцності склопластику при температурному впливі стандартної пожежі (рис. 11).

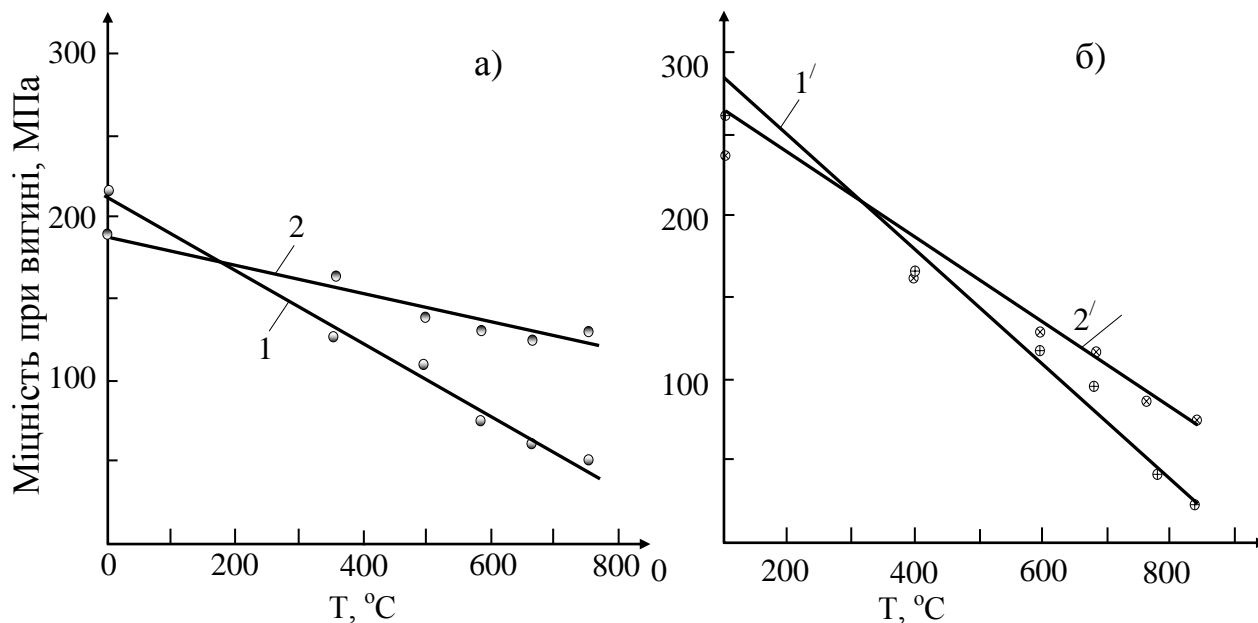


Рис. 11. Залежність тривалої міцності склопластиків від початого напруження при вигині в умовах зростання температури в режимі стандартної пожежі. Товщина зразка: а) – 5 мм; б) – 10 мм. Зразок на основі зв'язуючого: 1, 1' – бромвмісного; 2, 2' – нафталенвмісного

Також вивчено деформацію композиційних матеріалів на основі запропонованого зв'язуючого та промислового аналогу при температурному впливі стандартної пожежі. Встановлено, що запропоноване зв'язуюче при випробуваннях на деформацію дозволяє зберегти виробу зі склопластику необхідні властивості протягом 15 хв. на відміну від промислових аналогів – 5 хвилин після початку випробувань, тобто забезпечує вииграш в часі до 200%.

На основі проведених експериментальних досліджень відповідно до табл. 2 отримано регресійну модель залежності міцності на вигин σ склопластику на основі епоксидованого дінафтолу від параметрів формування P і T :

$$\sigma = -2522,81 + 207,95 \cdot P + 39,8 \cdot T + 3,5625 \cdot PT + 925 \cdot P^2 - 0,1462 \cdot T^2. \quad (7)$$

Максимум функції σ знайдено шляхом розв'язання системи рівнянь з необхідних умов наявності екстремуму багатовимірної функції і визначено його координати $\sigma_{\max}|_{P=0,3835 \text{ МПа}; T=140,8^\circ\text{C}}=318,6 \text{ МПа}$.

Встановлено, що величина $\Delta\sigma$, яка характеризує різницю між експериментальними даними та значеннями відповідно до регресійної моделі (7), не перевищує 9 МПа або 2,8%.

У н'ятому розділі проведено аналіз отриманих математичних моделей з опису ППН і міцнісних характеристик та проведено оптимізацію параметрів формування композиційного матеріалу на основі епоксидованих дінафтолів. Окрім того, виконано порівняння отриманих результатів з дослідження показників пожежної небезпеки для запропонованих склопластикових систем та їх промислових аналогів.

На рис. 12 наведено відносні значення міцності на вигин, кисневого індексу, температури спалахування σ^* , T^* , KI^* , які визначаються як:

$$\sigma^* = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}}; KI^* = \frac{KI}{KI_{\max}}; T^* = \frac{T_{\text{сн.}}}{T_{\text{сн.}\max}}. \quad (8)$$

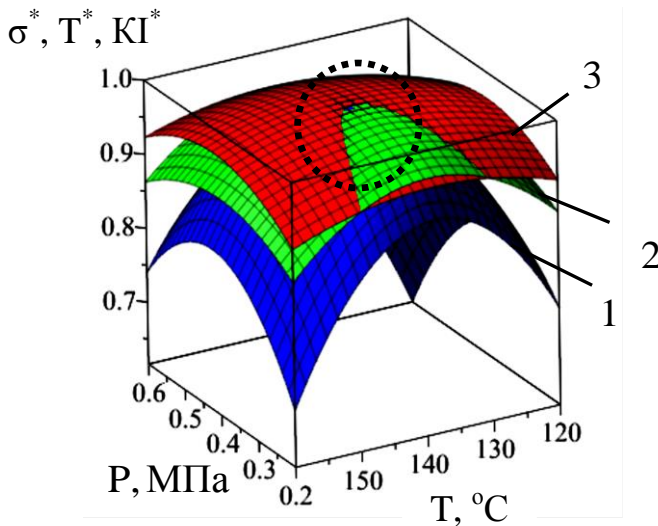


Рис. 12. Залежність відносної температури та тиску формування при максимальних значеннях:

1 – міцність на вигин;

2 – кисневий індекс;

3 – температура спалахування

Аналіз рис. 12 показує, що значення σ^* , T^* та KI^* мають різну швидкість зменшення при віддаленні від точки максимуму.

З метою визначення оптимальних параметрів формування, з урахуванням одночасно показників пожежної небезпеки і міцності матеріалу, запропоновано провести оптимізацію параметрів формування за критерієм максимуму наступної функції:

$$A(P,T) = \alpha_{KI} \cdot \frac{KI(P,T)}{KI_{\max}} + \alpha_T \cdot \frac{T_{\text{сн.}}(P,T)}{T_{\text{сн.}\max}} + \alpha_{\sigma} \cdot \frac{\sigma(P,T)}{\sigma_{\max}} \quad (9)$$

де α_{KI} , α_T та α_{σ} - вагові коефіцієнти. При цьому

$$\alpha_{KI} + \alpha_T + \alpha_{\sigma} = 1, \quad \alpha_{KI} \in [0;1], \quad \alpha_T \in [0;1], \quad \alpha_{\sigma} \in [0;1] \quad (10)$$

На рис. 13 наведені залежності функції $A(P,T)$ при різних значеннях коефіцієнтів α_{KI} , α_T , α_{σ} . Аналіз рисунку показує, що при варіюванні вагових коефіцієнтів значення $A_{\max}(P,T)$ відхиляється не більше ніж на 1,17%.

З метою визначення впливу вагових коефіцієнтів на максимальне значення $A(P,T)$ у всьому діапазоні формування визначено $A_{\max}(\alpha_{KI}, \alpha_T, \alpha_{\sigma})$.

На рис. 14 наведено залежність максимального значення A_{\max} в діапазоні формування від вагових коефіцієнтів α_{KI} та α_{σ} за умови, що $\alpha_T = 1 - \alpha_{KI} - \alpha_{\sigma}$.

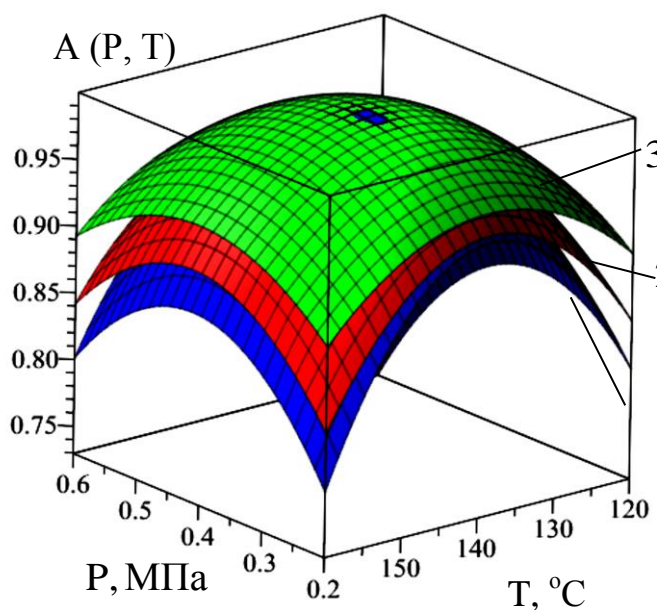


Рис. 13. Залежність $A(P, T)$ при різних значеннях α_i :
 1 – $\alpha_{KI} = 1/3; \alpha_{\sigma} = 1/3$; 2 – $\alpha_{KI} = 1/2$;
 $\alpha_T = 1/2$; 3 – $\alpha_{KI} = 1/2; \alpha_{\sigma} = 1/2$

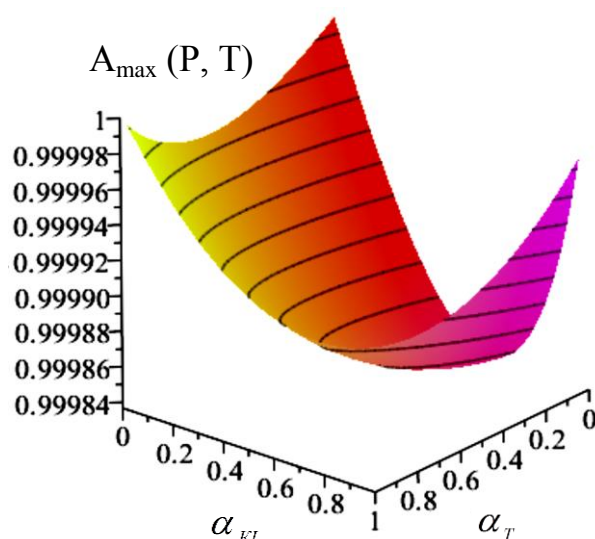


Рис. 14. Залежність максимального значення $A_{\max}(P, T)$ вагових коефіцієнтів α_{KI} та α_{σ}

Аналіз рис. 14 показує, що величина $A_{\max}(\alpha_{KI}, \alpha_T, \alpha_{\sigma})$ у всьому діапазоні існування α_{KI} , α_T та α_{σ} відрізняється не більше ніж на 0,017 %. Таким чином, доведена практична інваріантність величини $A_{\max}(\alpha_{KI}, \alpha_T, \alpha_{\sigma})$ до значень цих коефіцієнтів.

Для порівняння показників пожежної небезпеки були обрані промислові модифіковані вогнестійкі склопластики на основі зв'язуючих: УП-645, ФПР-520, бромвмісне зв'язуюче, ЕД-20+ФОМ-2 (табл. 5).

Таблиця 5
 Порівняння показників пожежної небезпеки отриманих склопластиків з промисловими аналогами

№	Показник пожежної небезпеки	Відносна різниця показників пожежної небезпеки, %	
		min	max
1	Кисневий індекс (KI), %	1,6	6,5
2	Лінійна швидкість розповсюдження полум'я ($V_{р.п.} \cdot 10^2$), м/с	0	19,1
3	Масова швидкість вигорання (\dot{m}), кг/(м ² ·с)	25,6	48,5
4	Температура спалахування ($T_{сп.}$), °C	3,5	14,3
5	Коксоутворення, %	0	31,8

При аналізі даних, викладених в табл. 5, встановлено, що запропоновані для використання склопластики на основі епоксидованих дінафтолів при оптимальних значеннях P і T мають перевагу в значеннях ППН в межах 6,5-48,5 % порівняно з промисловими аналогами.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі, яка є завершеним науковим дослідженням, наведені результати розв'язання актуальної науково-практичної задачі щодо зниження пожежної небезпеки склопластиків при застосуванні в них поліепоксидних зв'язуючих, схильних до інтенсивної карбонізації, шляхом оптимізації параметрів їх формування. При цьому одержані такі основні результати:

1. Проведено аналіз застосування склопластикових матеріалів, вивчені їх основні показники пожежної небезпеки і способи їх зниження. Розроблено алгоритм зниження показників пожежної небезпеки склопластиків на основі поліепоксидних зв'язуючих, що коксується, за рахунок оптимізації параметрів формування, а саме температури і тиску.

2. Отримано модифіковані поліепоксидні зв'язуючі, які містять зв'язані ароматичні ядра, що дозволяють знизити показники пожежної небезпеки склопластику в умовах розвитку пожежі. Їх застосування дозволяє отримати вихід коксового залишку після повної деструкції полімеру до 22%, що в (1,2-2,5) разів вище, ніж у зразків на основі промислових аналогів.

3. Досліджено процеси горіння і вигоряння, а також температуру спалахування запропонованих склопластикових систем. Із застосуванням центрального композиційного ортогонального планування другого порядку отримано регресійну модель залежності температури спалахування склопластику на основі поліепоксидних зв'язуючих від параметрів формування.

4. Отримано регресійну модель залежності кисневого індексу склопластику на основі запропонованих поліепоксидних зв'язуючих від умов формування шляхом використання стандартного методу визначення кисневого індексу. Визначено, що виготовлений при оптимальних параметрах склопластик на основі епоксидованого дінафтолу перевершує склопластик на основі промислових аналогів на величину до 6,5% по значенню кисневого індексу.

5. Побудовано регресійну модель залежності міцності на вигин полімерних композиційних матеріалів від умов формування з метою визначення їх міцнісних характеристик. Встановлено, що застосування епоксидованого дінафтолу дозволяє зберегти більше 50% поточній міцності від первинної, в порівнянні з 30% міцності для склопластику на основі промислового аналогу в інтервалі часу до 15 хв. від початку розвитку пожежі. В результаті вивчення областей структурних переходів і термічних перетворень склопластиків в умовах розвитку стандартної пожежі та пожежі, що швидко розвивається, встановлено, що зразки склопластиків на основі епоксидованого дінафтолу не досягають граничної деформації упродовж 15 хв. інтервалу порівняно з 5 хв. для промислових композитів в умовах розвитку пожежі, що забезпечує вигреш в часі до 200%.

6. Вирішена оптимізаційна задача з пошуку екстремальних значень досліджуваних показників пожежної небезпеки склопластиків в заданих діапазонах формування. Встановлено, що точки екстремуму функцій знаходяться в достатній близькості (відхилення менше 1%), що дозволяє за однакових умов формування отримати композиційний матеріал зі зниженими показниками пожежної небезпеки і максимальними міцнісними характеристиками. Показано, що отримані композиційні матеріали у величинах досліджених показників пожежної небезпеки мають переваги від 6,5% до 48,5% порівняно з промисловими аналогами. Розроблено рекомендації по формуванню полімерних композиційних матеріалів на основі епоксидованих дінафтолів зі зниженими ППН.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Билым П.А. Вязкоупругие свойства и термоустойчивость стеклопластика на основе модифицированного эпоксидного связующего / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко, В.В. Олейник В.А. Андронов // Вестник НТУ «ХПИ». – 2004. – Вып. 29. – С. 121 – 127.
2. Билым П.А. Предельные скорости горения и выгорания стеклопластиков на основе коксующихся связующих / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – Вып. 23. – С. 40 – 47.
3. Билым П.А. Характер изменения динамического модуля сдвига стеклопластика при нагреве в условиях близких к начальной стадии развития открытого пожара / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – Вып. 24. – С. 16 – 21.
4. Билым П.А. К вопросу оценки предела огнестойкости полимерных композиционных материалов / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – Вып. 25. – С. 20 – 23.
5. Билым П.А. Особенности высокотемпературного структурирования полимерных связующих стеклопластика на начальной стадии развития пожара / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – Вып. 26. – С. 25 - 31.
6. Билым П.А. Исследование методом ЭПР пиролитических превращений в стеклопластиках при тепловых воздействиях пожара / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко, В.В. Олейник // Проблемы пожарной безопасности. – 2010. – Вып. 27. – С. 33 – 38.
7. Билым П.А. К вопросу масштабного моделирования разупрочнения стеклопластика на начальной стадии пожара / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко, Ю.И. Калябин // Проблемы пожарной безопасности. – 2011. – Вып. 29. – С. 24 – 29.
8. Афанасенко К.А. К вопросу о карбонизации и потере массы сетчатых полимеров при линейном нагреве / К.А. Афанасенко, А.П. Михайлюк, П.А. Билым // Проблемы пожарной безопасности. – 2013. – Вып. 33. – С. 13 – 16.
9. Афанасенко К.А. Зависимость прочности стеклопластиков при нелинейном температурном воздействии от адгезионного контакта полимер-волокно / К.А. Афанасенко, А.П. Михайлюк // Проблемы пожарной безопасности. – 2014. – Вып. 35. – С.88-93.
10. Афанасенко К.А. Влияние термической деструкции и интенсивности коксообразования на расслоение стеклопластиков в условиях повышенных температур / К.А. Афанасенко, А.П. Михайлюк // Проблемы пожарной безопасности 2014. – Вып 36. – С. 24-30.
11. Афанасенко К.А. Связующие для стеклопластиков с пониженными показателями пожарной опасности / К.А. Афанасенко, П.А. Билым // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 6 (58) – С. 44-48.
12. Afanasenko K.A. Identification of fiberglasses fire danger indicators and strength characteristics dependences from formation conditions / K.A. Afanasenko, A.P. Mihaylyuk, Y.P. Klyuchka // Eastern European Scientific Journal. – 2016. – №2. – P. 235-239.

13. Билым П.А. К вопросу определения теплоты газификации сетчатого полимера / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко // Пожежна безпека та охорона праці: Міжнар. наук.-практ. конф., 14 травня 2008 р., Черкаси: тез. доп. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2008. – С. 185-187.

14. Афанасенко К.А. Разрушение композиционных материалов при температурно-силовом воздействии / К.А. Афанасенко, П.А. Билым, А.П. Михайлюк // XXIV Международная научно-практическая конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института: тезисы докладов. Ч. 1. М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012. – С. 320-322.

15. Афанасенко К. А. К вопросу о показателях пожарной опасности карбонизированных связующих / К.А. Афанасенко // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: Міжнар. наук.-практ. конф., 22-23 травня 2014 р., Гомель: тез. доп. – Гомель: ГІ МНС РБ, 2014. – С. 25.

16. Афанасенко К.А. Міцнісні характеристики склопластиків під час нелінійного нагріву / К.А. Афанасенко // Забезпечення пожежної та техногенної безпеки: Всеукр. наук.-практ. конф., 30-31 жовтня 2014 р., Харків: тез. доп. – Харків: НУЦЗУ, 2014. – С. 15-16.

17. Афанасенко К.А. Предварительно пиролизированные стеклопластики с пониженной горючестью / К.А. Афанасенко // Забезпечення пожежної та техногенної безпеки: Всеукр. наук.-практ. конф., 29-30 жовтня 2015 р., Харків: тез. доп. – Харків: НУЦЗУ, 2015. – С. 13-14.

АНОТАЦІЯ

Афанасенко К.А. Зниження пожежної небезпеки склопластиків на основі поліепоксидних зв'язуючих, що коксуються, за рахунок оптимізації параметрів формування. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека, Національний університет цивільного захисту України, Харків, 2016 р.

В дисертаційній роботі проведений аналіз застосування склопластикових матеріалів, вивчені їх основні показники пожежної небезпеки і способи їх зниження. Розроблено алгоритм зниження показників пожежної небезпеки склопластиків на основі поліепоксидних зв'язуючих, що коксуються, за рахунок оптимізації параметрів формування. Отримано нові поліепоксидні зв'язуючі на основі епоксидованих дінафтолів, що дозволяють знизити показники пожежної небезпеки склопластика в умовах розвитку пожежі.

Проведені експериментальні дослідження лінійної та масової швидкостей горіння, температури спалахування, кисневого індексу та міцності склопластикових систем. На основі експериментальних досліджень отримані регресійні моделі залежності температури спалахування, кисневого індексу та міцності на вигин склопластика на основі епоксидованих дінафтолів від умов формування, а саме – температури і тиску.

Досліджені міцнісні характеристики склопластиків на основі запропонованих зв'язуючих в умовах розвитку пожежі та показані їх переваги над промисловими аналогами.

Сформульовано та розв'язано оптимізаційну задачу з пошуку максимальних значень досліджуваних показників пожежної небезпеки склопластиків в заданих діапазонах формування. Показано, що за однакових умов формування можливо отримати композиційний матеріал зі зниженими показниками пожежної небезпеки і максимальними міцнісними характеристиками, які мають перевагу на 6,5-48,5% у порівнянні з промисловими аналогами.

Розроблено рекомендації по формуванню полімерних композиційних матеріалів на основі епоксидованих дінафтолів.

Ключові слова: склопластики, показники пожежної небезпеки, параметри формування, коксування зв'язуючого, горючість, швидкість поширення полум'я.

АНОТАЦІЯ

Афанасенко К.А. Снижение пожарной опасности стеклопластиков на основе коксуемых полиэпоксидных связующих за счет оптимизации параметров формования. – Рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук по специальности 21.06.02 – пожарная безопасность, Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, 2016 г.

В диссертационной работе проведен анализ использования стеклопластиковых материалов, изучены их основные показатели пожарной опасности и способы их снижения. Разработан алгоритм снижения показателей пожарной опасности стеклопластиков на основе коксуемых полиэпоксидных связующих за счет оптимизации параметров формования. Получены новые полиэпоксидные связующие, которые позволяют снизить показатели пожарной опасности в условиях развития пожара.

Проведены экспериментальные исследования линейной и массовой скоростей горения, температуры воспламенения, кислородного индекса и прочности стеклопластиковых систем. На основе экспериментальных исследований получены регрессионные модели температуры воспламенения, кислородного индекса и прочности стеклопластика на основе эпоксидированных дианафтолов в зависимости от условий формования, а именно – температуры и давления.

Исследованы прочностные характеристики стеклопластиков на основе предложенных связующих в условиях развития пожара и показано их преимущество перед промышленными аналогами.

Решена оптимизационная задача поиска максимальных значений исследуемых показателей пожарной опасности стеклопластиков в заданных диапазонах формования. Показано, что при одинаковых условиях формования можно получить композиционный материал с пониженными показателями пожарной опасности и максимальными значениями прочностных характеристик, которые имеют преимущество на 6,5-48,5% в сравнении с промышленными аналогами.

Разработаны рекомендации по формированию полимерных композиционных материалов на основе эпоксидированных дианафтолов.

Ключевые слова: стеклопластики, показатели пожарной опасности, параметры формования, коксувание связующего, горючесть, скорость распространения пламени.

ABSTRACT

Afanasenko K.A. Increasing fiberglass plastic fire-resistance on the basis of coking polyepoxy binders by optimizing formation parameters. – Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 21.06.02. – fire safety, National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, 2016.

The thesis contains analysis of the use of fiberglass materials, results of studying their basic fire danger indicators and ways to reduce them. An algorithm for reducing the fire danger indicators based on fiberglass coking polyepoxy binder by optimizing formation parameters has been developed. Obtained are new polyepoxide binders reducing the fire danger indices in terms of fire growth.

Novel polyepoxide binders containing binding aromatic rings that reduce the fire danger indices fiberglass under fire development have been defined. Applying that binders one can obtain coke residue yield after complete degradation of the polymer to 22%, that is twice higher in comparison with industrial analogues.

Using the numerous tests it was shown that the fiberglass plastics structure based on the proposed epoxidized dinaftols allows to save more than 50% of current strength from initial one, compared with 30% for industrial analogues in interval of time up to 15 minutes from fire beginning.

The processes of burning and burnout as well as the ignition temperature of fiberglass plastics systems being proposed have been investigated. Based on experimental studies and with the use of second order orthogonal central compositional planning the regression model of fiberglass plastics ignition temperature as the function from formation parameters, namely temperature and pressure, has been proposed.

To define the oxygen index of fiberglass plastics on the basis of the proposed polyepoxy binders as the function from the formation conditions the regression model was built according to the standard approach.

It was determined that fiberglass plastics based on epoxidized dinaftols that is made under optimal parameters exceeds its industry analogues up to 6.5% of the oxygen index value.

On the basis of the conducted fire tests the principal reasons of durability loss of polymeric composites have been set as a ground of research directions on development of new kind of reinforced plastics for bearing constructions with the increased limit of fire-resistance.

For the conditions of the standard fire development as well as fast developing fire it is experimentally established that the fiberglass plastics samples based on epoxidized dinaftol do not reach the limiting deformation during 15 minute interval in comparison of 5-minute intervals for industrial composites.

We solve optimization problem of finding the maximum values for the fiberglass fire danger indicators being studied in a given formation range. As the result we obtain that values of functions being considered are close enough (less than 1% deviation) to define composite material having reduced fire danger indicators and maximum strength characteristics under the same formation conditions. It is shown that the resulting composites in terms of fire danger indicators being considered have advantage more than 6.5% up to 48.5%.

The recommendations concerning formation of polymer composite materials based on epoxidized dinaftols with reduced fire danger indicators have been proposed

Key words: fiberglass, fire danger indicators, formation parameters, binder coking, flammability, flame spread speed.

Підписано до друку 15.12.16. Формат 60x84/16.
Папір 80 г/м³. Друк ризограф. Ум. друк. арк. 1,0.
Тираж 100 прим. Вид. № 175/12. Зам. № 1152/12.

Надруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 24800000000106167 від 08.01.2009 р.
61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34
e-mail: bookfabrik@rambler.ru