

УДК 678.5.067

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.230321.41.733

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

КОНДРАТЬЄВ А. В.^{1*}, *докт. техн. наук, проф.*,
ПРОНЦЕВИЧ О. О.², *канд. техн. наук, с. н. с.*

^{1*} Кафедра технології будівельного виробництва і будівельних матеріалів, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, Харків, Україна, тел. +38 (095) 50-99-864, e-mail: andrii.kondratiev@kname.edu.ua, ORCID ID:0000-0002-8101-1961

² Відділ фізико-хімічних методів контролю матеріалів і елементів конструкцій, Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне», вул. Криворізька, 3, 49008, Дніпро, Україна, тел. +38 (066) 45-81-551, e-mail: prosana@ukr.net, ORCID ID:0000-0002-2013-2620

Анотація. Постановка проблеми. Наразі підвищення ефективності технології виробництва елементів композитних конструкцій пов'язане з високими енергетичними витратами. У зв'язку із цим великого значення набуває реалізація шляхів оптимізації параметрів технологічного процесу виготовлення полімерних композиційних матеріалів. **Мета статті** – висвітлення оптимізації режимів просочування та отвердіння термореактивних зв'язувальних і полімерних композиційних матеріалів на їх основі у поєднанні з кінетикою газовиділення та контролю всіх стадій технологічного процесу. **Результати.** Розроблено енергозберігальну технологію формування композитних елементів конструкцій будівель та споруд, що забезпечила скорочення тривалості процесу отвердіння полімерних матеріалів залежно від типу зв'язувального. Технологія дає можливість контролю швидкості та ступеня отвердіння термореактивного зв'язувального за зміною тангенса кута діелектричних витрат та електропровідності. **Наукова новизна і практична значимість.** Отримав подальший розвиток стосовно елементів композитних конструкцій електрофізичний метод оптимізації режимів просочування та отвердіння композитних виробів у поєднанні та з контролем усіх стадій технологічного процесу. Встановлено допустимі значення параметрів отвердіння згідно з оптимізованим режимом ряду термореактивних зв'язувальних: швидкостей нагріву, температур ізотерм, часу витримки на них. При цьому досягнуто оптимальні часи отвердіння зв'язувальних БФОС, ЛБС-4, ЕНФБ, 5-211Б за новою технологією в 2.4; 1.8; 3.0; 2.3; 2.0 та 1.2 рази менше, ніж у відомих технологіях. Отримані результати гарантують якість одержуваного композитного виробу та рекомендовані для прискорення процесу отвердіння полімерних матеріалів.

Ключові слова: оптимізація; технологічний режим; просочування; отвердіння; термореактивні зв'язувальні; газовиділення; контроль стадій

ENERGY-SAVING TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF ELEMENTS OF BUILDING STRUCTURES FROM POLYMER MATERIALS

KONDRATIEV A.V.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
PRONTSEVYCH O.O.², *Cand. Sc. (Tech.), Sen. Res. Assist.*

^{1*} Department of Construction Technology and Building Materials, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 17, Marshal Bazhanov Str., 61002, Kharkiv, Ukraine, tel. +38 (095) 50-99-864, e-mail: andrii.kondratiev@kname.edu.ua, ORCID ID:0000-0002-8101-1961

² Department of Physical and Chemical Methods of Control of Materials and Elements of Construction, Yuzhnoye Design Office, 3, Kryvoriz'ka Str., 49008, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (066) 45-81-551, e-mail: prosana@ukr.net, ORCID ID:0000-0002-2013-2620

Abstract. Problem statement. At present, the increase in the efficiency of the technology for the production of composite structural elements is associated with high energy costs. In this regard, the implementation of ways to optimize the parameters of the technological process of manufacturing polymer composite materials is of great importance. **The purpose of the article is to** optimize the modes of impregnation and curing of thermosetting binders and polymer composite materials based on them in combination with the kinetics of gas evolution and control of all stages of the technological process. **Results.** An energy-saving technology for molding composite structural elements of buildings and structures has been developed, which provides a reduction in the duration of the curing process of polymer materials, depending on the type of binder. The technology makes it possible to control the speed and degree of curing of a thermosetting binder by changing the tangent of the dielectric loss angle and electrical conductivity.

Scientific novelty and practical significance. The approach and the electrophysical method for optimizing the modes of impregnation and curing of composite products in combination with the control of all stages of the technological process have been further developed in relation to the elements of composite structures. The permissible values of the curing parameters have been established according to the optimized mode of a number of thermosetting binders: heating rates, isotherm temperatures, and holding time at them. At the same time, the achieved optimal curing times for binders BFOS, LBS-4, ENFB, 5-211B using the new technology is 2.4; 1.8; 3.0; 2.3; 2.0 and 1.2 times less than according to known technologies. The results obtained guarantee the quality of the resulting composite product and are recommended for accelerating the curing process of polymer materials.

Keywords: optimization; technological regime; impregnation; curing; thermosetting binders; gas evolution; stage control

Постановка проблеми. Сучасні полімерні композиційні матеріали, а також конструкції з них знаходять все ширше застосування в будівельному комплексі. Це дозволяє зменшити масу будівельних конструкцій, підвищити корозійну стійкість і стійкість до впливу несприятливих кліматичних факторів, продовжити міжремонтні терміни, виконувати ремонт і посилення конструкцій з мінімальними витратами ресурсів і часу.

Близько 30 % світового обсягу виробництва полімерних композиційних матеріалів (приблизно 4 млн т) становить продукція для будівельного комплексу [5]. Уже зараз сертифікація будівель та споруд у відповідності з нормативними параметрами ISO і Eurocode можлива тільки із застосуванням якісних композиційних матеріалів і сучасних будівельних технологій, що гарантують максимальну безпеку об'єкта, його енергоефективність та екологічність.

Наразі підвищення ефективності технології виробництва елементів конструкцій із полімерних композиційних матеріалів пов'язане з високими енергетичними витратами. У зв'язку із цим великого значення набуває реалізація шляхів оптимізації технології виготовлення полімерних композиційних матеріалів.

Оптимізований режим термообробки полімерних композиційних матеріалів і контроль усіх стадій процесу їх формування дозволить скоротити цикл термообробки, знизити витрати на силову електроенергію за рахунок оптимізації й контролю процесів просочення й термообробки в комбінації з кінетикою газовиділення.

Аналіз публікацій. Питанням

удосконалення технології виробництва елементів конструкцій з полімерних композиційних матеріалів присвячено низку праць [6; 9] та ін., в яких досліджувалися термореактивні зв'язувальні в аспекті проблеми створення матриць для високоміцних композитів. Задача розв'язувалась за рахунок оптимізації режимів просочення й отвердження реактопластів і безперервного контролю їх технологічних параметрів.

У праці [2] розроблено концептуальний підхід до методу вдосконалювання технології формування конструкцій із полімерних композиційних матеріалів, а також спосіб підвищення їх фізико-механічних характеристик із цільовими добавками ренію.

Автори публікації [3] показали відсутність оптимізаційних математичних моделей процесів переробки полімерних композиційних матеріалів. Відомі способи оптимізації режимів отвердження полімерних композиційних матеріалів для малої товщини шляхом емпіричного підбору температурно-часових регламентів різними методами, а для товстостінної – в основному базуються на теорії подібності та математичному моделюванні [10]. Існує низка інших наближених методів визначення часу отвердження виробів, однак у них відсутній взаємозв'язок теплового режиму отвердження з механічними характеристиками матеріалу (залишковими напруженнями) і не враховується можливе перегрівання внутрішніх шарів виробів унаслідок екзотермічного ефекту [8].

У дослідженні [4] одержав подальший розвиток спосіб контролю процесу

отвердження багатокомпонентних середовищ [2], який, на відміну від раніше відомого, дозволяє вести безперервний контроль, що суттєво підвищує його надійність і ефективність.

У працях [1; 7] наведено результати контролю процесу отвердження зв'язувальних різних типів і побудови їх єдиної кінетичної кривої.

Можна зробити висновок, що в даний час існуючі методики не враховують особливості формування індивідуального полімерного композиційного матеріалу під час його переходу з одного фізичного стану в інший. Крім того, не враховуються й технологічні фактори, що впливають на одержання якісного виробу (реологічні властивості, газо- і тепловиділення, вплив факторів просочення й підпресування, застосування різних наповнювачів, розкиди температур і швидкостей нагрівання в автоклавах та ін.).

Результати дослідження. Розроблений у працях [2; 4] концептуальний підхід до методу вдосконалення технології формування полімерних композиційних матеріалів, а також спосіб підвищення їх фізико-механічних характеристик із цільовими добавками ренію дозволяють інтегрувати отримані результати в енергозберігальну технологію виготовлення елементів композитних конструкцій будівель та споруд.

У запропонованій технології в процес переробки термореактивних зв'язувальних і полімерних композиційних матеріалів на їх основі включені нові етапи.

1. Дослідження закономірностей газовиділення термореактивних зв'язувальних у сукупності з дослідженнями кінетики їх гелеутворення.

2. Реологічний спосіб визначення температури мінімальної в'язкості термореактивних зв'язувальних та їх гелеутворення.

3. Електрофізичний спосіб визначення температури склування термореактивних зв'язувальних.

4. Електрофізичний експрес-аналіз придатності зв'язувальних до подальшої

переробки.

5. Неруйнівний електрофізичний контроль процесу вакуум-автоклавного і вакуумного формування полімерних композиційних матеріалів.

Перші три стадії контролю для кожного конкретного термореактивного зв'язувального проводяться однократно, незалежно від партій. Четверта стадія виконується для кожного конкретного виду матеріалу на етапах просочення, сушіння та підготовки препрегів до формування. П'ята стадія призначена для кожного режиму отвердження конкретного полімерного композиційного матеріалу.

Як об'єкти дослідження використано широко застосовувані термореактивні зв'язувальні: епоксидні з ізоціанатною складовою (ЕДТ-69Н, ВСО-200); епоксифенольні (ЕНФБ, 5-211Б); фенолоформальдегідні (ЛБС-4, БФОС).

У дослідженні зразок розташовували між електродами вимірювальної чарунки, яку поміщували в піч, що нагрівається за заданим режимом або нагріту до необхідної температури. Чарунку підключали до універсального вимірювача ряду електрофізичних параметрів (тангенса кута діелектричних втрат, електропровідності) моделі Е-7-8. Для кожного виду матеріалів застосовували різні моделі чарунок, розроблені з урахуванням їх властивостей.

Попередньо перед формуванням полімерного композиційного матеріалу проводили неруйнівний електрофізичний контроль для:

– вивчення процесів отвердження препрегів;

– аналізу життєздатності зв'язувальних і напівфабрикатів (препрегів) на його основі.

Розроблений неруйнівний електрофізичний контроль, установка для його здійснення й структурна схема виробництва виробів із реактопластів (рис. 1) докладно описані в наших працях [2; 4]

Для всіх досліджуваних матеріалів було визначено температурні інтервали мінімальної в'язкості, гелеутворення та склування. У таблиці 1 наведено узагальнені дані параметрів термообробки

термореактивних зв'язувальних, що дозволяють оцінити повну картину отвердження, тобто перехід із в'язкотекучого стану у високоеластичний, а з гелеподібного – в область склування.



Рис. 1. Структурна схема виготовлення виробів із полімерних композиційних матеріалів

Таблиця 1

Кінетичні параметри отвердження термореактивних зв'язувальних у точках контролю

Марка зв'язувального	Температура, °C						Час τ , хв (за V , °C/хв.)					
	мінімальної в'язкості	гелеутворення	максимальна електропровідність G_{max} за V , С/хв.)		отвердження	склування	максимальна електропровідність G_{max}		температура першої ізотерми дорівнює температурі отвердження		$G/tg\delta = const$	
			0,5	2,5			0,5	2,5	0,5	2,5	0,5	2,5
БФОС	75...78	80	85	80	190	95	110	20	90	100	410	165
ЕНФБ	60...63	64	80	77	175	100	100	15	40	40	330	95
ЛБС-4	75...78	80	90	90	160	110	110	25	40	40	290	95
5-211Б	65...66	68	75	80	150	107	100	20	–	–	250	50
ВСО-200	60...63	64	75	90	125	113	90	24	140	26	310...310	89-225
ЕДТ-69Н	63...70	71...75	72	80	125...130	108	77	26	39	22	225...310	76...115

Як видно з таблиці 1, точка початку гелеутворення різних полімерних матеріалів дуже близька (у межах 1...5 °C) до точки мінімальної в'язкості.

Найбільша глибина отвердження полімерного матеріалу встановлювалася за мінімальним значенням електропровідності G й тангенса кута діелектричних втрат $tg\delta$ до досягнення їх постійного значення ($G/tg\delta = const$).

Температура склування кожного полімерного матеріалу характеризує перехід матеріалу з високоеластичного стану до склоподібного. Як уже зазначалось, в

існуючих технологіях не наводиться обґрунтування вибору температури просочення й підсушування матеріалів у процесі одержання препрегів, що не дає можливості одержати якісний композит.

Уведення операцій просочення в запропонованій технології за температури мінімальної в'язкості зв'язувального дозволило одержати якісний препрег.

Для виміру в'язкісних властивостей зв'язувального під час нагрівання їх у часі застосовано віскозиметричний метод аналізу.

На прикладі зв'язувального ВСО-200

визначено температури просочення наповнювача. Дослідження його в'язкісних властивостей проводили в діапазоні температур від 20 до 75 °С, за якого відбувалася зміна часу витікання зв'язувального. Так, за 20 °С він становив 175 с; за 40 °С – 89 с; за 60 °С – 32 с; за 75 °С збільшувався до 172 с протягом перших 10 хв.

Таким чином, мінімальна в'язкість зв'язувального ВСО-200 спостерігалася за температури 60 °С, оптимальної для просочення наповнювачів, у зв'язку з тим, що протягом 4 годин його в'язкість не збільшується.

Одночасно на стадії підготовки препрегів до формування введено дослідження кінетики газовиділення зв'язувальних паралельно з гелеутворенням, що дозволило добитися одержання матеріалу без макродефектності.

Усе це допомогло визначити температуру й час, за яких відбувається максимальне виділення летких із зв'язувальних; першу ізотермічну сходинку й витримку за цієї температури; температуру переходу на наступну ізотермічну сходинку; час отвердження зв'язувального на достатню глибину.

Для зв'язувального ВСО-200 визначено режим отвердження з урахуванням оцінки газовиділення. Дані виділення летких і вид матеріалу на основі зв'язувального ВСО-200 у процесі нагрівання за ступінчастим режимом зі швидкістю від 0,5 °С/хв. до 2,0 °С/хв наведено в таблиці 2.

Перша швидкість нагрівання 0,5 °С/хв забезпечує спокійний максимальний вихід летких протягом певного часу, кінець якого визначається за максимальним значенням електропровідності. Дослід показав, що максимальне її значення для ВСО-200 спостерігається в інтервалі (75...7,5) °С, тобто в граничній області в'язко-текучого стану.

Далі від температури 75 °С матеріал нагрівався зі швидкістю підйому температури 0,5 °С/хв послідовно до кожної із точок 80; 90; 100; 120; 125 °С і визначався вихід летких у кожній з них до досягнення постійної маси кожні (0,5...1) години нагрівання.

Дані аналізу газовиділення зв'язувального ВСО-200 наведено у таблиці 3.

Таблиця 2

Газовиділення зв'язувального ВСО-200 під час нагрівання

Швидкість, °С/хв.	Леткі, %	Вид матеріалу (пористість)
0,5	35,83	Тверда фаза (одна пора)
1,0	35,80	Тверда фаза (кілька пор)
1,5	34,90	Тверда фаза (спучування)
2,0	33,61	Тверда фаза (сильне спучування)

Таблиця 3

Дані аналізу газовиділення зв'язувального ВСО-200

Температурні точки, °С (вид матеріалу)	Кількість летких, що виділилися, %	Інтервал температурних точок, °С	Втрата маси між сусідніми температурними точками, %
75 (рідка фаза)	33,29	75...80	0,05
80 (рідка фаза)	33,34	–	–
90 (рідка фаза)	33,65	80...90	0,31
100 (рідка фаза)	33,90	90...100	0,25
110 (рідка фаза)	33,92	100...110	0,02
120 (рідка фаза)	33,94	110...120	0,02
125 (рідка фаза)	34,98	120...125	0,44
125 (тверда фаза)	35,87	125 (витримка 1 година)	1,49
125 (тверда фаза)	37,01	125 (витримка 2 години)	1,14
125 (тверда фаза)	37,36	125 (витримка 3 години)	0,35
125 (тверда фаза)	37,36	125 (витримка 4 години)	–

Як видно з таблиці 3, найменша втрата маси спостерігається в інтервалах температур (100...110) °С; (110...120) °С. Прилегли до цих інтервалів температурні інтервали (90...100) °С; (120...125) °С, де втрата маси становить 0.25 %; 0.44 % відповідно. Незважаючи на те, що в інтервалі (120...125) °С спостерігається втрата маси більша, ніж в інтервалі (90...100) °С, за перший температурний інтервал ізотермічної витримки було прийнято інтервал (90... 100) °С, який не спричинює спучування матеріалу.

За температуру першої ізотермічної витримки прийнята більш висока температура 100 °С, що сприяє більш швидкому виходу летких і процесу гелеутворення, ніж за температури 90 °С.

Таким чином, перша ізотермічна температура витримки – 100 °С з часом витримки 1 год. 30 хв. За цієї температури практично повністю вилучено леткі. Далі з метою скорочення часу термообробки була задана швидкість нагрівання 2.0 °С /хв до температури 125 °С. Витримка протягом 2 годин за цієї температури зумовлює

остаточне зшиття зв'язувального і досягнення постійних значень електропровідності та тангенса кута діелектричних втрат.

Оцінювання ступеня отвердження зв'язувального ВСО-200 і склотканини Т-10-80 за оптимізованим режимом проводили за зміною на кілька порядків електропровідності від її максимального значення та даних екстракції (табл. 4). Як видно з таблиці 4, зміна значень електропровідності від її максимального значення на 1 порядок дає ступінь отвердження близько 65 %; на 2 порядки – до 88 %; на 3 порядки – до 93 %; на 4 порядки – настає практично повне отвердження – 98 %.

Таким чином, на підставі отриманих даних кінетики газовиділення та гелеутворення визначено оптимальний режим термообробки зв'язувального ВСО-200.

Аналогічні дослідження проведено для інших широко застосовуваних термореактивних зв'язувальних (табл. 5).

Таблиця 4

Дані екстракції препрега Т-10-80 на основі зв'язувального ВСО-200 за отвердження за оптимізованим режимом

Час отвердження	Порядок зменшення електропровідності від її максимального значення до	Ступінь отвердження за екстракцією в апараті Сокслета, %
підйом до 100 °С зі швидкістю 0,5 °С /хв.		
На ізотермі 100 °С, 40 хв.	1-го порядку	64,35
На ізотермі 100 °С, 1 год.	2-го порядку	87,70
На ізотермі 100 °С, 1 год. 30 хв.	3-го порядку	93,35
підйом до 125 °С зі швидкістю 2,0 °С /хв.		
На ізотермі 125 °С, 55 хв.	4-го порядку	95,75
На ізотермі 125 °С, 1 год. 40 хв.	4-го порядку	98,00

Таблиця 5

Порівняльні дані часу отвердження термореактивних зв'язувальних за різними режимами

Марка зв'язувального	Час режиму, хв.	
	режим відомих технологічних інструкцій	оптимізований режим
БФОС	525	215
ЛБС-4	420	240
ЕНФБ	615	192
5-211Б	436	187
ВСО-200	560	280
ЕДТ-69Н	553	430

За даними таблиці 5 режим отвердження зв'язувальних скорочень для: БФОС в 2,4 раза; ЛБС-4 – 1,8; ЭНФБ – 3,1; 5-211Б – 2,3; ВСО-200 – 2; ЭДТ-69Н – 1,2 раза.

Висновки. Розроблено енергозберігальну технологію формування композитних елементів конструкцій будівель та споруд, що забезпечила скорочення тривалості процесу отвердіння полімерних матеріалів залежно від типу зв'язувального та гарантує якість

одержуваного матеріалу.

Для скорочення енерговитрат на обслуговування пічок нагрівання та автоклавів доцільно визначати для конкретного полімерного матеріалу температури мінімальної в'язкості, гелеутворення і склування для оцінювання переходу матеріалу з одного фізичного стану в інший.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ghaemy M., Sadjady S., Ghaemy M. Kinetic analysis of curing behavior of diglycidyl ether of bisphenol a with imidazoles using differential scanning calorimetry techniques. *J. Appl. Polym. Sci.* 2006. Vol. 100. Pp. 2634–2641.
2. Slyvyn'skyu V. I., Verbitskaya N. A., Gajdachuk V. E., Kyrychenko V. V., Karpikova O. A. Creation of energy-saving technologies of forming articles made of polymeric composite materials. *60th International Astronautical Congress*. Daejeon, Republic of Korea, 12–16 October, 2009. IAC-09.C 2.4.9. Pp. 1–7.
3. Бейдер Э. Я., Петрова Г. Н. Термопластичные связующие для полимерных композиционных материалов. *Труды ВИАМ*. 2015. № 11. С. 40–49.
4. Гайдачук А. В., Гайдачук В. Е., Карпикова О. А., Кириченко В. В., Кондратьев А. В. *Сотовые наполнители и панельные конструкции космического назначения* : монограф. в 2 т. Т. 2. Совершенствование сотовых наполнителей и конструкций технологическими методами. Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2015. 247 с.
5. Каблов Е. Н. Композиты : сегодня и завтра. *Металлы Евразии*. 2015. № 1. С. 36–39.
6. Осипов П. В., Осипчик В. С., Смотров С. А., Савельева Д. М. Регулирование свойств наполненных эпоксидных полимеров. *Пластические массы*. 2011. № 4. С. 3–5.
7. Плакунова Е. В., Пинкас М. В., Мызникова О. А., Панова Л. Г. Исследование влияния состава эпоксидной композиции на кинетику процесса отверждения. *Пластические массы*. 2009. № 1. С. 9–13.
8. Тимошков П. Н., Хрульков А. В. Анализ технологий производства изделий из непрерывно армированных полимерных композиционных материалов безавтоклавными способами изготовления (Обзор). *Труды ВИАМ*. 2017. № 11 (59). С. 73–81.
9. Устинова Т. П., Кадыкова Ю. А. Направленное регулирование структуры и свойств полимерматричных композиционных материалов. *Вестник ТГТУ*. 2015. № 4. С. 644–652.
10. Хрульков А. В., Душин М. И., Попов Ю. О., Коган Д. И. Исследования и разработка автоклавных и безавтоклавных технологий формования ПКМ. *Авиационные материалы и технологии*. 2012. № 8. С. 292–301.

REFERENCES

1. Ghaemy M., Sadjady S. and Ghaemy M. Kinetic analysis of curing behavior of diglycidyl ether of bisphenol a with imidazoles using differential scanning calorimetry techniques. *J. Appl. Polym. Sci.* 2006, vol. 100, pp. 2634–2641.
2. Slyvyn'skyu V.I., Verbitskaya N.A., Gajdachuk V.Yev., Kyrychenko V.V. and Karpikova O.A. Creation of energy-saving technologies of forming articles made of polymeric composite materials. *60th International Astronautical Congress*. Daejeon, Republic of Korea, 12–16 October, 2009, IAC-09.C2.4.9, pp. 1–7.
3. Bejder Je.Ja. and Petrova G.N. *Termoplastichnye svyazujushhie dlja polimernyh kompozicionnyh materialov* [Thermoplastic binders for polymer composite materials]. *Trudy VIAM* [Materials of the Russian Institute of Aviation Materials]. 2015, no. 11, pp. 40–49. (in Russian).
4. Gajdachuk A.V., Gajdachuk V.Yev., Karpikova O.A., Kirichenko V.V. and Kondratiev A.V. *Sotovyje zapolniteli i panel'nye konstrukcii kosmicheskogo naznachenija* [Cell fillers and panel structures for space purposes : monograf in 2 vol.]. Tom 2. *Sovershenstvovanie sotovyh zapolnitelej i konstrukcij tehnologicheskimi metodami* [Vol. 2. Improvement of honeycomb fillers and structures by technological methods]. Kharkiv : National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute” Publ., 2015, 247 p. (in Russian).
5. Kablov Yev.N. *Kompozity : segodnja i zavtra* [Composites : today and tomorrow]. *Metally Evrazii* [Metals of Eurasia]. 2015, no 1, pp. 36–39. (in Russian).
6. Osipov P.V., Osipchik V.S., Smotrova S.A. and Savel'eva D.M. *Regulirovanie svojstv napolnennyh jepoksidnyh polimerov* [Regulation of the properties of filled epoxy polymers]. *Plasticheskie massy* [Plastics]. 2011, no. 4, pp. 3–5.

(in Russian).

7. Plakunova E.V., Pinkas M.V., Myznikova O.A. and Panova L.G. *Issledovanie vlijanija sostava jepoksidnoj kompozicii na kinetiku processa otverzhenija* [Study of the effect of the composition of the epoxy composition on the kinetics of the hardening process]. *Plasticheskie massy* [Plastics]. 2009, no 1, pp. 9–13. (in Russian).

8. Timoshkov P.N. and Hrul'kov A.V. *Analiz tehnologij proizvodstva izdelij iz nepreryvno armirovannyh polimernyh kompozicionnyh materialov bezavtoklavnyimi sposobami izgotovlenija (Obzor)* [Analysis of production technologies for products from continuously reinforced polymer composite materials without autoclave manufacturing methods (Review)]. *Trudy VIAM* [Materials of the Russian Institute of Aviation Materials]. 2017, no. 11 (59), pp. 73–81. (in Russian).

9. Ustinova T.P. and Kadykova Ju.A. *Napravlennoe regulirovanie struktury i svojstv polimernykh kompozicionnyh materialov* [Directed regulation of the structure and properties of polymer-matrix composite materials]. *Vestnik TGTU* [Bulletin Tambov State Technical University]. 2015, no. 4, pp. 644–652. (in Russian).

10. Hrul'kov A.V., Dushin M.I., Popov Ju.O. and Kogan D.I. *Issledovanija i razrabotka avtoklavnyh i bezavtoklavnyh tehnologij formovanija PKM* [Research and development of autoclave and non-autoclave technologies for forming PCM]. *Aviacionnye materialy i tehnologii* [Aviation materials and technologies]. 2012, no. 8, pp. 292–301. (in Russian).

Надійшла до редакції: 20.02.2021.