

## **Анализ создания терморазмеростабильных конструкций космического назначения из углерод-углеродных композиционных материалов**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»,  
Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара*

Проведен анализ возможностей создания терморазмеростабильных конструкций космического назначения из углерод-углеродных композитов, полученных преимущественно однократной карбонизацией исходного агрегата из углепластиков слоистой структуры в неокисляющейся среде. Предложены приближенные зависимости для определения физико-механических, термоупругих и прочностных свойств получаемого углерод-углеродного материала на основе формул механики слоистых полимерных композитов с учетом особенностей преобразования структуры и свойств матрицы.

**Ключевые слова:** конструкции космического назначения, терморазмеростабильность, углепластики, углерод-углеродные композиционные материалы, карбонизация.

Как отмечалось [1 – 8], для изделий, длительно эксплуатирующихся на околоземных орбитах, а в перспективе – и на орбитах других планет, предназначенных для систем телекоммуникации, дистанционного зондирования и использования в качестве размеростабильных опор высокочувствительных приемопередающих устройств, широко применяют трехслойные панельные и оболочечные конструкции из полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе углеродных волокон.

Все шире применяются конструктивно-силовые схемы (КСС) с углесотопластом (УСП) [3 – 5, 8]. УСП по сравнению с другими типами сотов обладает самыми высокими удельными показателями прочности и жесткости в сочетании с минимальными коэффициентами линейного термического расширения (КЛТР), обеспечивающими высокий уровень размеростабильности при циклических температурных воздействиях в пределах  $\pm 70^\circ \text{C}$ .

Однако полимерное связующее в конструкциях этого класса не всегда обеспечивает все возрастающие требования к температурному диапазону их эксплуатации. В связи с этим представляет значительный практический интерес анализ возможностей использования в таких конструкциях углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ). Впервые сообщение об УУКМ появилось в 70-х годах прошлого столетия [9 – 13]. В последующие годы этот материал стал непревзойденным в конструкциях космических аппаратов для их эрозионной защиты, противостоянию высокоскоростным тепловым воздействиям (теплоудар) и обеспечивающим практически полную реализацию физико-механических и прочностных свойств углеродных волокон.

Разработан широкий спектр многонаправленных структур УУКМ, в которых использованы углеродные нити двух (2D), трех (3D) взаимно перпендикулярных направлений, а для получения УУКМ с изотропными свойствами применяют 4D, 5D, 7D и 11D структуры (рис. 1, [14 – 15]).

УУКМ представляют собой углеродосодержащую или графитовую матрицу, армированную углеродными или графитовыми волокнами. Матрица обладает как свойствами монолитного графита, так и свойствами волокнистых композитов.

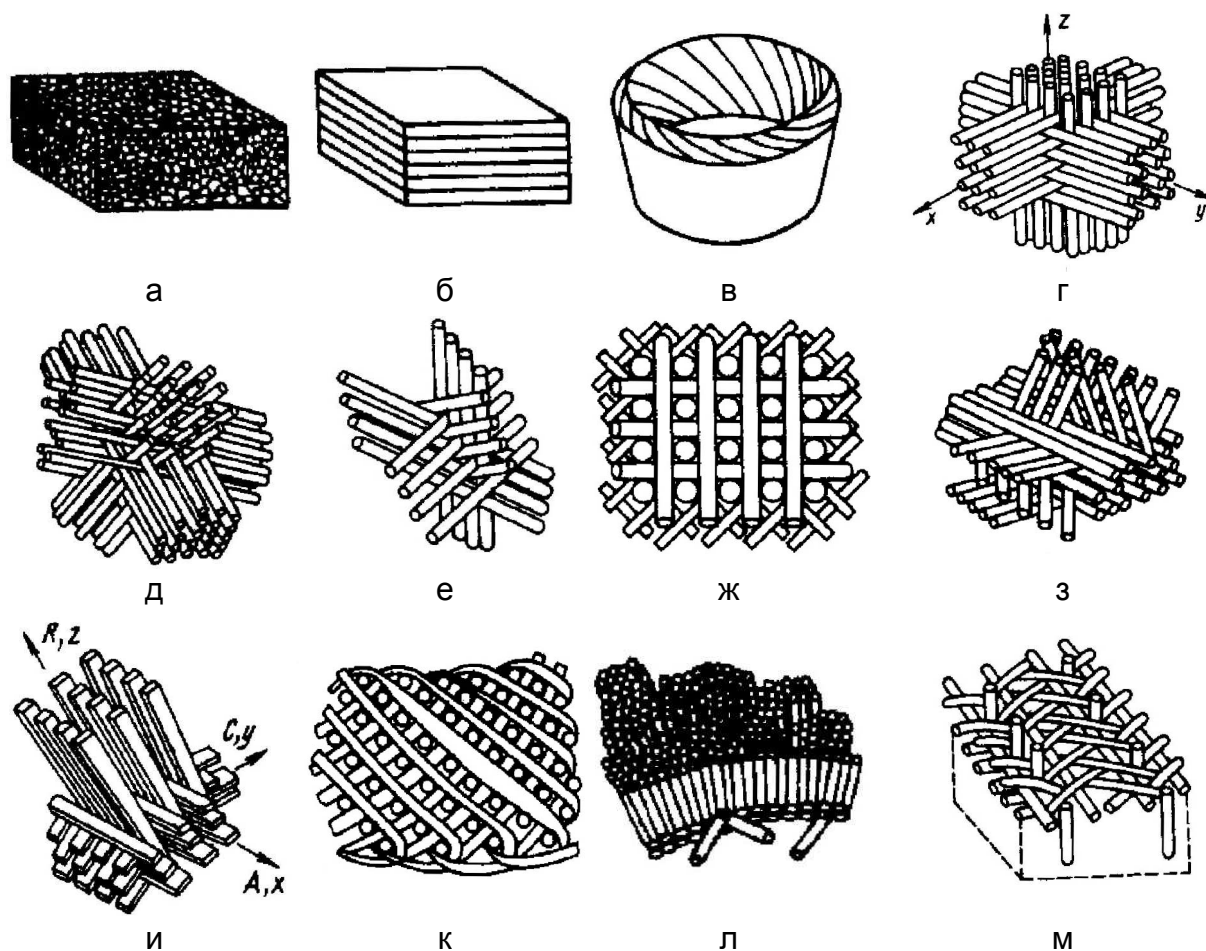


Рис. 1. Структура УУКМ: а – хаотичная; б – слоистая; в - розеточная; г – ортогональная 3D; д – 4D; е – 4D-Л; ж – 5D-Л; з – 5D; и – аксиально-радиально-окружная; к – аксиально-спиральная; л – радиально-спиральная; м – аксиально-радиально-спиральная

Существуют два основных способа получения углеродной матрицы: осаждение из газовой фазы пироуглерода, образующегося при термическом разложении углеводородов в порах углеволокнистого каркаса, и карбонизация полимерной матрицы в заранее отформованной заготовке детали из КМУ и ее высокотемпературная обработка в неокисляющей среде [14, 17].

Первый способ обеспечивает получение деталей из УУКМ с более высокими эксплуатационными свойствами, однако он не может быть использован для случая готового изделия из КМУ, в том числе трехслойной КСС с УСП и углепластиковыми обшивками. Для реализации этой КСС могут быть использованы 2D структуры на основе двунаправленной углеродной ткани.

Для таких изделий может быть проанализирована эффективность только его карбонизации, т.е. высокотемпературной обработки (более 2100° С) в неокисляющей среде инертного газа путем перевода полимерного связующего в кокс [16, 17] с потерей массы, усадкой и образованием большого числа пор. Свойства углеродной матрицы существенно зависят от вида исходной смолы (фенолформальдегидной, кремнийорганической, эпоксидной, полиимидной и др.) [14 – 17].

Для случая карбонизации готовой конструкции из КМУ, по-видимому, нельзя ожидать таких высоких эксплуатационных характеристик, какие можно получить при многократной пропитке полимерного композита и последующей его карбонизации. Однако одной из целей получения таких изделий является низкая плотность и низкий КЛТР, обеспечивающий высокий уровень размеростабильности при умеренных прочностных и жесткостных характеристиках при высоких температурах. Ниже в табл. 1 приведены характеристики УУКМ [16].

Таблица 1

Характеристики углерод-углеродных и углеграфитовых материалов

№ п/п	Метод получения	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Прочность при растяжении $\sigma_1^+$ , МПа	Прочность при сжатии $\sigma_1^-$ , МПа	Модуль упругости $E_1$ , ГПа	Теплопроводность $\lambda$ , Вт/(м·К)	КЛТР $\alpha \cdot 10^{-6}$ , 1/К	Структура, тип матрицы
1	УУКМ на основе высокомодульных волокон (осаждение из газовой фазы)	1750	75	200	30	6...8	2...3	3D-плетеная, пироуглерод
2	УУКМ на основе низкоимодульных волокон (пропитка при низком давлении)	1500	80	185	23	5	6	Тканевая. фенольная смола
3	УУКМ на основе высокоимодульных волокон (пропитка в газостате)	1700	91	99	31	3,8	2,6	Тканевая. фенольная смола
4	УУКМ на основе высокоимодульных волокон (осаждение из газовой фазы)	1800	100	200	10	10	4	4D-плетеная, пироуглерод
5	Графит ЦМ – Р	1960	13	75	110...130	110...130	3,4	-

Отметим, что для обсуждаемых здесь изделий в большей или меньшей степени подходят УУКМ, свойства которого приведены в пп. 2 – 3 табл. 1.

Анализ опыта получения УУКМ [14 – 15] показывает, что углеродные волокна в процессе карбонизации, особенно однократной, характерной для рассматриваемого нами класса трехслойных конструкций из углепластика с УСП, не изменяют своих ФМХ и прочностных свойств. В то же время карбонизация связующего, превращающая его в кокс, полностью меняет его свойства, - происходит его термодеструкция, характеризующаяся потерей массы усадкой и порообразованием.

В зависимости от структуры различают два вида кокса – изотропный и струйчатый. Изотропный кокс представляет собой структуру, отличающуюся большим количеством поперечных связей, пределом прочности при сжатии до 80 МПа, модулем упругости 500 МПа и КЛТР  $\alpha = 5 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ . Струйчатый кокс обладает весьма совершенной кристаллической структурой и имеет более низкие коэффициент температурного расширения и прочность при сжатии (примерно в

два раза). При растяжении зависимость свойств углеродной матрицы от ее структуры не так существенна: модуль упругости меняется от 1 до 2 ГПа, предел прочности – от 10 до 15 МПа [16].

Таким образом, из приведенных выше данных следует, что средний диапазон ФМХ и прочностных свойств кокса находится в пределах:

для предела прочности

– при растяжении  $\sigma_g = 10 \dots 15$  МПа;

– при сжатии  $\sigma_g = 40 \dots 80$  МПа;

для модуля упругости

– при растяжении  $E = 1 \dots 2$  ГПа;

– при сжатии  $E = 0,5$  ГПа;

КЛТР  $\alpha = (2,5 \dots 5) \cdot 10^{-6}$  1/°С.

Для сравнения в табл. 2 приведены диапазоны изменения ФМХ и других свойств отвержденных полимерных связующих [16].

Таблица 2

## Физико-механические характеристики отвержденных связующих

Характеристика	Фенолформальдегидные	Кремнийорганические	Полиэфирные	Эпоксидные	Полиимидные
Предел прочности при растяжении $\sigma_1^+$ , МПа	40-70	25-50	30-70	35-100	90-95
Предел прочности при сжатии $\sigma_1^-$ , МПа	100-125	60-100	80-150	90-160	250-280
Модуль упругости $E_1^+$ , ГПа	7-11	6,8-10	2,8-3,8	2,4-4,2	3,2-5
Плотность $\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	1,2-1,3	1,35-1,4	1,2-1,35	1,2-1,3	1,41-1,43
Теплостойкость по Мартенсу, °С	140-180	250-280	50-80	130-150	250-320
Относительное удлинение, %	0,4-0,5	0,3-0,5	1,0-5,0	2-9	1-2,5
Объемная усадка, %	15-25	15-20	5-10	1-5	15-20
КЛТР $\alpha \cdot 10^{-5}$ , 1/°С	6-8	2-4,2	6-9	4,8-8	5-5,8
Водопоглощение за 24 ч., %	0,3-0,4	0,08-0,12	0,1-0,2	0,01-0,08	0,28-0,32

Как видно, у коксов пределы прочности при растяжении и сжатии существенно снижаются: при растяжении  $\sigma_g$  в 3 – 10 раз, а при сжатии  $\sigma_g$  в 2 – 3 раза. Модуль упругости также снижается в 3 – 10 раз при растяжении, КЛТР снижается более чем на порядок.

Сведений о свойствах УУКМ 1-D и 2-D на основе слоистых структур в известной нам литературе очень мало, так как этот класс композитов возник и развивался именно для высокопрочных и термостойких космического назначения и близких к ним по эксплуатационным требованиям изделиям. Тем не менее, в [14] приводятся некоторые сведения, представляющие интерес и для слоистых

УУКМ обсуждаемого класса конструкций. К ним следует отнести: зависимости плотности  $\rho_{УУКМ}$  от числа циклов карбонизации (рис. 2). Как следует из графиков, при одном цикле карбонизации, характерном для рассматриваемого класса конструкций из УУКМ, его плотность составляет 1000...1100 кг/м<sup>3</sup>, то есть ниже, чем у исходного однонаправленного углепластика ( $\rho_{КМУ} = 1400...1550$  кг/м<sup>3</sup>, [15]) в 1,4 – 1,55 раза.

На рис. 3 показана зависимость плотности УУКМ от его пористости [14]. Из рисунка следует, что при плотности УУКМ  $\rho_{УУКМ} = 1000...1100$  кг/м<sup>3</sup> пористость П составляет 30..35 %.

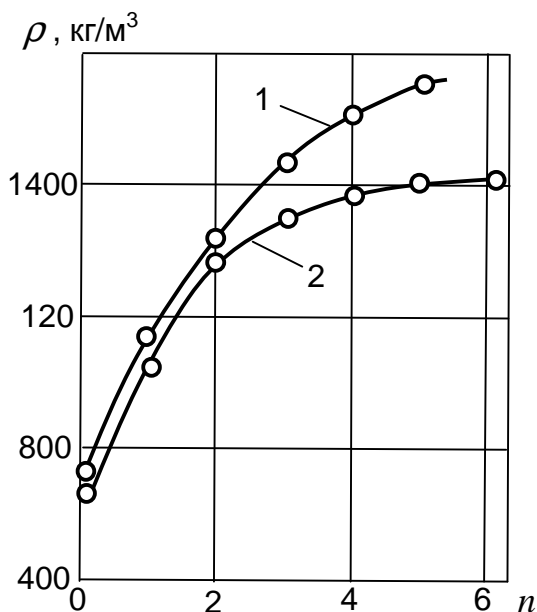


Рис. 2. Зависимость плотности УУКМ от числа циклов  $n$  процесса:  
1 – пропитка под давлением (давление, насыщение, карбонизация);  
2 – карбонизация при атмосферном давлении

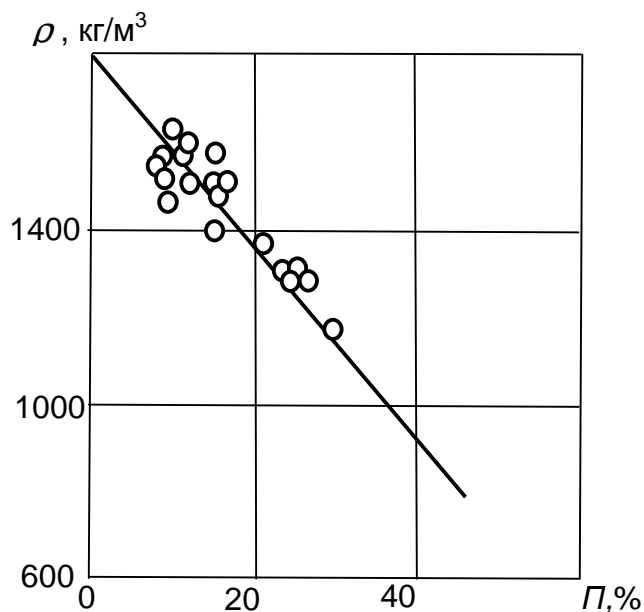


Рис. 3. Изменение характера пористости П материала типа Мод 3 на основе углерод-углеродной матрицы в зависимости от плотности

Известно, что пористость играет негативную роль как в аспекте ФМХ и прочностных свойств ПКМ, так и в плане снижения несущей способности изделий из композита в эксплуатации при статических и в особенности при многоцикловом их нагружении силовыми и температурными воздействиями вследствие имеющих место остаточных напряжений материала в области пор.

Однако для рассматриваемого класса конструкций высокий уровень пористости (относительное объемное содержание пор)  $\theta_n$  играет и определенную позитивную роль, существенно снижая плотность УУКМ этих изделий  $\rho_{УУКМ}$ .

Уравнение баланса масс составляющих УУКМ можно записать в виде

$$\frac{V_v}{V_{УУКМ}} \rho_v + \frac{V_{\text{кокса}}}{V_{УУКМ}} \rho_{\text{кокса}} \xi^y + \frac{V_n}{V_{УУКМ}} = \rho_{УУКМ} \quad (1)$$

или

$$\theta_{\theta} \rho_{\theta} + \theta_{\text{КОКС}} \rho_{\text{КОКС}} \xi^y + \Pi = \rho_{\text{УУКМ}}, \quad (2)$$

где  $\theta_{\theta}$ ,  $\theta_{\text{КОКС}}$ ,  $\Pi$  - относительное объемное содержание углеволокон, кокса и пор в УУКМ.

Здесь  $V_{\theta}$ ,  $V_{\text{КОКС}}$ ,  $V_n$ ,  $V_{\text{УУКМ}}$  - объемы волокон, кокса, пор и общий фиксированный объем УУКМ;  $\xi^y$  - коэффициент объемной усадки кокса в фиксированном объеме, равный произведению линейных коэффициентов усадки по осям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ .

Для рассматриваемого класса УУКМ 2D:

$$\xi^y = \xi_x^y \cdot \xi_y^y \cdot \xi_z^y = \xi_x^y \cdot (\xi_y^y)^2, \quad (3)$$

где линейные коэффициенты усадки  $\xi_x^y$  и  $\xi_y^y$  определяются формулами, приведенными в [18].

С учетом отсутствия усадки у углеродных волокон

$$\xi_x^y = \frac{E_{\text{КОКС}} \xi_{\text{КОКС}} (1 - \theta_{\theta})}{E_{\theta} \theta_{\theta} + E_{\text{КОКС}} (1 - \theta_{\theta})}; \quad (4)$$

$$\xi_y^y = \xi_{\text{КОКС}} (1 - \theta_{\theta}) \left[ 1 - \frac{\theta_{\theta} (E_{\theta} \mu_{\theta} - E_{\text{КОКС}} \mu_{\text{КОКС}})}{E_{\theta} \theta_{\theta} + E_{\text{КОКС}} (1 - \theta_{\theta})} \right]. \quad (5)$$

Формулы для приближенного определения ФМХ и прочностных свойств однонаправленной структуры УУКМ можно получить из соответствующих соотношений для ПКМ [18] с заменой входящего в них множителя  $(1 - \xi_{\theta})$  на  $(\chi - \xi_{\theta})$ , где  $\chi = (1 - \Pi)$ . Этот множитель отражает тот факт, что в УУКМ с высоким содержанием пор единица равна не сумме относительных объемных содержаний волокон и связующего, как это имеет место в ПКМ, а три составляющих материала  $\theta_{\theta} + \theta_{\text{КОКС}} + \Pi = 1$  или

$$\theta_{\theta} + \theta_{\text{КОКС}} = (1 - \Pi) = \chi. \quad (6)$$

При малой пористости  $\phi \rightarrow 1$  и все формулы для однонаправленного ПКМ и УУКМ совпадают.

С учетом отмеченного выше ФМХ однонаправленного УУКМ соответственно в направлении волокон и поперек армирующих волокон имеют вид:

$$E_{1\text{УУКМ}} = E_{\theta} \theta_{\theta} + E_{\text{КОКС}} (\chi - \theta_{\theta}); \quad (7)$$

$$E_{2\text{УУКМ}} \approx \frac{E_{\theta}}{\theta_{\theta} + \frac{E_{\theta}}{E_{\text{КОКС}}} (\chi - \theta_{\theta})}; \quad (8)$$

$$G_{12\text{УУКМ}} \approx \frac{E_{\theta} E_{\text{КОКС}}}{2 \left[ E_{\theta} (\chi - \theta_{\theta}) (\chi + \mu_{\text{КОКС}}) + E_{\text{КОКС}} (\chi + \mu_{\text{КОКС}}) \theta_{\theta} \right]}; \quad (9)$$

$$\alpha_{1\text{УУКМ}} = \frac{E_{\theta} \alpha_{\theta} \theta_{\theta} + E_{\text{КОКС}} \alpha_{\text{КОКС}} (\chi - \theta_{\theta})}{E_{\theta} \theta_{\theta} + E_{\text{КОКС}} (\chi - \theta_{\theta})}; \quad (10)$$

$$\alpha_{2\text{УУКМ}} = \alpha_{\theta} \theta_{\theta} + \alpha_{\text{КОКС}} (\chi - \theta_{\theta}) - \mu_{\theta} \theta_{\theta} (\alpha_{1\text{УУКМ}} - \alpha_{\theta}) - \mu_{\text{КОКС}} (\chi - \theta_{\theta}) (\alpha_{1\text{УУКМ}} - \alpha_{\theta}), \quad (11)$$

а пределы прочности УУКМ в главных осях приближенно можно определить по формулам [18]

$$\sigma_{\sigma 1УУКМ}^{+(-)} = \frac{\sigma_{\sigma 66}^{+(-)}}{E_{\sigma}} \left[ E_{\sigma} \theta_{\sigma} + E_{\text{КОКС}}^{+(-)} (\chi - \theta_{\sigma}) \right]; \quad (12)$$

$$\sigma_{\sigma 2УУКМ}^{+(-)} = \sigma_{\sigma 66}^{+(-)} \left( \frac{\pi}{2\theta_{\sigma}} - 2 \right) \left( \frac{\pi}{\sqrt{\pi^2 - 16\theta_{\sigma}^2}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{\pi + 4\theta_{\sigma}}{\pi - 4\theta_{\sigma}}} - \frac{\pi}{4} \right); \quad (13)$$

$$\tau_{\tau 12УУКМ} = \frac{\tau_{\tau 66}}{G_{\sigma}} \left[ G_{\sigma} \theta_{\sigma} + G_{\text{КОКС}} (\chi - \theta_{\sigma}) \right]. \quad (14)$$

Здесь  $\sigma_{\sigma 66}^{+(-)}$ ,  $\sigma_{\text{КОКС}}^{+(-)}$  - пределы прочности углеволокон и кокса при растяжении (сжатии);  $\tau_{\tau 66}$  - предел прочности углеволокна при сдвиге.

Деформативные свойства ортогонального и перекрестно армированных УУКМ определяются по формулам механики слоистых ПКМ [18] с учетом того, что ФМХ однонаправленных УУКМ в главных осях выражаются зависимостями (7) – (11).

Таким образом в первом приближении определен весь комплекс ФМХ УУКМ, позволяющий найти напряженно-деформированное состояние данных структур при эксплуатационных нагрузках на конструкцию из этих материалов.

## Выводы

1. Проведенный предварительный анализ возможностей создания терморазмеростабильных конструкций для орбитальных космических аппаратов из углерод-углеродных композиционных материалов наряду с негативными факторами выявил и некоторые преимущества этого класса изделий: существенное расширение температурного диапазона их эксплуатации, снижение массы конструкций за счет уменьшения плотности УУКМ и ряд других.

2. Предложены зависимости для оценки ФМХ и прочностных свойств УУКМ 2D схемы армирования (слоистых структур), следующие из известных формул механики армированных ПКМ при учете особенностей структурных изменений при превращении ПКМ в УУКМ (образование кокса из полимерного связующего и высокой пористости материала).

Эти зависимости позволяют на начальных стадиях проектирования изделий из УУКМ определить их напряженно-деформированное состояние в условиях эксплуатации и уровень терморазмеростабильности.

3. Полученные результаты могут быть положены в основу сравнительного анализа эффективности изделий данного класса из УУКМ относительно конструкций из ПКМ с углесотопластом.

## Список литературы

1. Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композиционных материалов [Текст] / Г. А. Молодцов, В. Е. Биткин, В. Ф. Симонов и др. – М.: Машиностроение, 2000. – 352 с.

2. Халиманович, В. И. Сотовые конструкции для космических аппаратов связи и навигации: опыт проектирования и изготовления [Текст] /

В. И. Халиманович, Ф. К. Синьковский, Н. Н. Ишенина // Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники: сб. материалов III междунар. науч.-практич. конф., Днепропетровск 27 – 29 мая 2009 г. Укр. НИИ технологии машиностроения. – Днепропетровск, 2009. – С. 161 – 171.

3. Carbon honeycomb plastic as light-weight and durable structural material / V. I. Slyvynskiy, A. I. Alyamovskiy, A. V. Kondratyev, V. A. Kovalenko // 63-th International Astronautical Congress 2012 – Naples, Italy – IAC-12.C2.4.6. – P. 1 – 11.

4. Pilot industrial technology for creating carbon honeycomb plastics and sandwich structures based on them for products of rocket and space engineering / V. I. Slyvynskiy, M. E. Kharchenko, V. E. Gajdachuk, A. V. Kondratyev, V.A. Kovalenko // SEICO 13 SAMPE EUROOPEN 34th International conference and forum 2013. – P. 304 – 309.

5. Определение рациональной схемы армирования углесотопласта при помощи МКЭ-поддержки [Текст] / В. Е. Гайдачук, В. И. Сливинский, А. В. Кондратьев, М.Е. Харченко // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Вип. 2(79). – Дніпропетровськ, 2012. – С. 3 – 12.

6. Сливинский, В. И. Влияние схемы армирования наполнителя на свойства углесотопласта [Текст] // В. И. Сливинский, А. В. Кондратьев, М. Е. Харченко // Композитные материалы. Междунар. науч.-техн. сб. – 2012. – Т. 6. - № 1. – С. 33 – 40.

7. Харченко, М. Е. Обзор и анализ состояния разработки формостабильных композитных конструкций космического назначения [Текст] / М. Е. Харченко // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Вип. 4(87). – Дніпропетровськ, 2013. – С. 180 – 186.

8. Харченко, М. Е. Исследование напряженности, термонеровновесности и формостабильности углепластиковых обшивок и трехслойных панелей с углесотопластовым наполнителем космического назначения [Текст] / М. Е. Харченко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2013. - № 6(103). – С. 28 – 35.

9. McAllister, L. E. Development and Evaluation of Mod 3 Carbon/Carbon Composites // L. E. McAllister, A. R. Taverna // Proc. 17<sup>th</sup> Nat. SAMPE Symp., 1972. – P. III-A Three I III A Three 7.

10. Mullen, C. K. Fabrication and Properties Description of AVCO 3 D Carbon/Carbon Cylinder Materials / C. K. Mullen, P. J. Roy // Proc. 17<sup>th</sup> Nat. SAMPE Symp., 1972. – P. III-A Two I III A Two 8.

11. Rowe, S. R. The Effect of Weave Spacing on the Properties of 3D Orthogonal Carbon/Carbon Composites / S.R. Rowe // Proc. 19<sup>th</sup> Nat. SAMPE Symp., 1974. – vol. 19, P. 359 – 373.

12. McAllister, L. E. Study of Composition – Construction Variations in 3D Carbon/Carbon Composites / L. E. McAllister, A. R. Taverna // Proc. ICCM-75, vol. 1, 1976. - P. 307 – 327.

13. Perry, J. L. Mechanical Tests of a Three-Dimensionally-Reinforced Carbon/Carbon Composite Material / J. L. Perry, D. F. Adams // Carbon, 1976. – vol. 14, N 1. – P. 61 – 70.

14. Тарнопольский, Ю. Н. Пространственно-армированные композиционные материалы [Текст]: справ. / Ю. М. Тарнопольский, И. Г. Жигуж, В. А. Поляков. М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.

15. Композиционные материалы [Текст]: справ./ В. В. Васильев, В.Д. Протасов, В. В. Болотин и др; под общ. ред. В. В. Васильева,



Ю.М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.

16. Буланов, И. М. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов [Текст]: учебник для вузов / И. М. Буланов, В.В. Воробей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 516 с.

17. Твердопаливні ракетні двигуни. Матеріали і технології [Текст]: підручник / Ф. П. Санін, Л. Д. Кучма, Є. О. Джур, А. Ф. Санін. – Д.: ДНУ, 1999.—320 с.

18. Гайдачук, В.Е. Механика волокнистых композиционных материалов [Текст]: учеб. пособие / В. Е. Гайдачук, Я. С. Карпов, М. Ю. Русин. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1991. – 98 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, глав. науч. сотр. В.И. Сливинский,  
ПАО «Украинский научно-исследовательский институт  
технологии машиностроения», Днепропетровск.

Поступила в редакцию 13.12.13.

### **Аналіз створення терморозміростабільних конструкцій космічного призначення з вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів**

Проведено аналіз можливостей створення терморозміростабільних конструкцій космічного призначення з вуглець-вуглецевих композитів, отриманих переважно одноразовою карбонізацією вихідного агрегата з вуглепластиків шаруватої структури в неокислюваному середовищі. Запропоновано наближені залежності для визначення фізико-механічних, термопружних та міцнісних характеристик одержуваного вуглець- вуглецевого матеріалу на основі формул механіки шаруватистих полімерних композитів з урахуванням особливостей перетворення структури та властивостей матриці.

**Ключові слова:** конструкції космічного призначення, терморозміростабільність, вуглепластики, вуглець-вуглецеві композиційні матеріали, карбонізація

### **Analysis of the creation of thermal and size stable designs for space purposes made of carbon-carbon composites**

Analysis of the possibilities of creating thermal and size stable designs for space purposes made of carbon-carbon composites obtained by carbonization of the original unit made of layered carbon plastics in non-oxidizing environment was conducted. Approximate dependences for determination physical, mechanical, thermo-elastic and strength properties of the resulting carbon-carbon material based on the formulas of layered polymer composites mechanics taking into account features the transformation of the structure and properties of the matrix have been proposed.

**Keywords:** design for space purposes, thermal and size stability, carbon plastics, carbon-carbon composite materials, carbonization.