

Концептуальный подход к формированию физико-механических характеристик сэндвичевых структур композитных конструкций ракетно-космической техники

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»

Предложен концептуальный подход к формированию физико-механических характеристик сэндвичевых структур композитных конструкций ракетно-космической техники. Показано, что информация о свойствах полимерных композитов зависит от степени освоения материала и требований технического задания на проектируемый агрегат. Разработана реализующая этот подход принципиальная схема многоуровневого синтеза заполнителя оптимальной структуры армирования, обеспечивающая наиболее эффективное решение поставленной задачи при различных уровнях информации о свойствах используемого в проекте изделия полимерного композита.

Ключевые слова: концептуальный подход, формирование физико-механических характеристик, полимерные композиционные материалы.

Создание конкурентоспособной на мировом рынке ракетно-космической техники (РКТ) требует разработки новых или усовершенствование существующих конструктивно-силовых схем (КСС) ее агрегатов с повышенными требованиями к несущей способности, жесткости и форморазмеростабильности [1]. Известно, что в полной мере этим требованиям отвечают композитные сэндвичевые конструкции с заполнителями различных типов [2], среди которых наиболее широкое распространение для агрегатов РКТ нашли сотовые [3], трубчатые [4], гофровые [5] и складчатые с ячеистой структурой [6]. Уникальный комплекс прочностных, технологических и эксплуатационных характеристик таких заполнителей выявил их приоритет среди других и предопределил их широкое применение. Использование в качестве материала для несущих обшивок и заполнителей полимерных композитов создает возможности в широком диапазоне регулировать их приведенные физико-механические характеристики (ФМХ) путем изменения угла укладки армирующих волокон с целью получения оптимального сочетания искомых свойств сэндвичевой конструкции в целом [7].

Однако, как показывает опыт, в большинстве случаев в зависимости от степени ответственности агрегатов заключение об их соответствии предъявляемым требованиям дается только по результатам обработки весьма дорогостоящих натуральных испытаний образцов, что в свою очередь ведет к росту стоимости РКТ.

Обязательность проведения натуральных испытаний вызвана тем, что на начальных стадиях создания конструкций РКТ разработчик располагает далеко не полным комплексом ФМХ композита и может исходить только из отрывочных литературных данных, на основе которых им формируются исходные свойства. Это связано с тем, что разрабатываемые агрегаты РКТ являются, как правило, уникальными, и предназначены для реализации конкретной научно-технической программы, не имеющей аналогов. При этом производство носит мелкосерийный или единичный характер, что затрудняет проведение всех видов предварительного анализа, поскольку нет возможности сравнения результатов с прототипами.

Степень приближенности ФМХ зависит от точности исходной информации, которой располагает разработчик. В общем случае эта информация может включать в себя несколько уровней (рис. 1) [8].

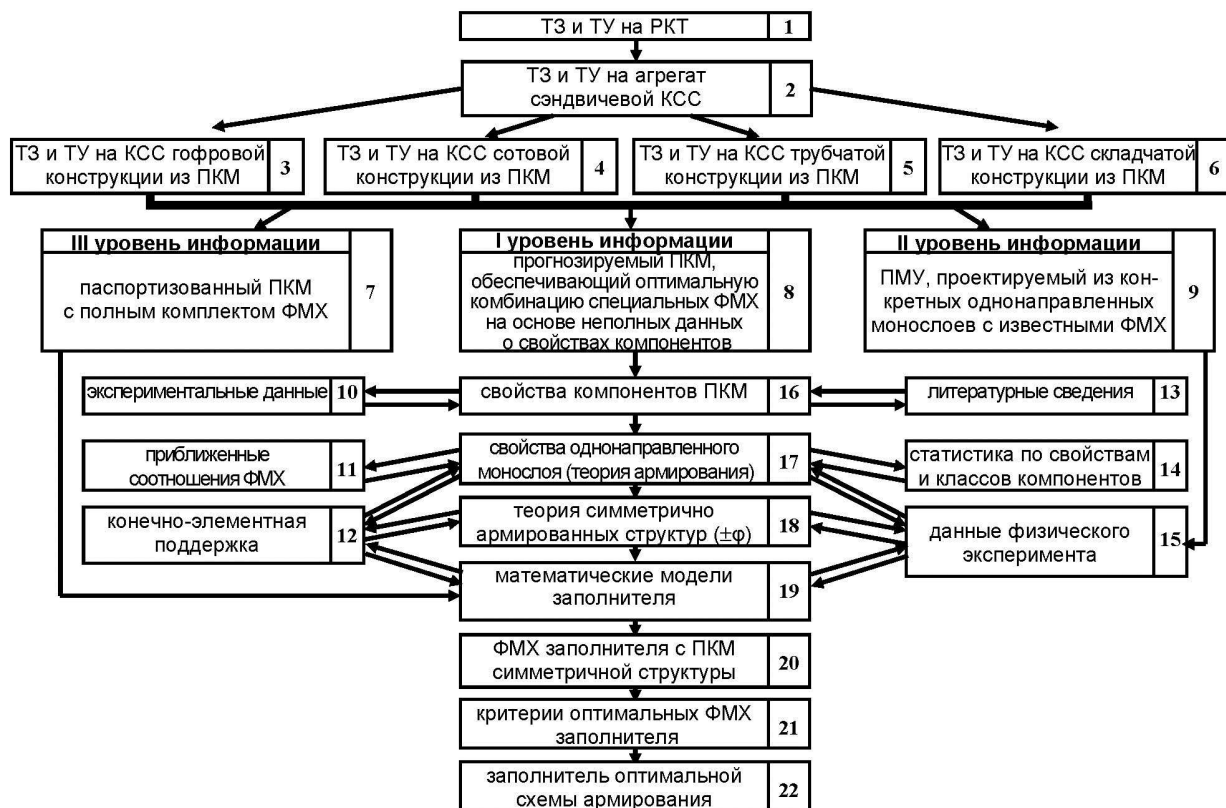


Рис. 1. Принципиальная схема многоуровневого синтеза заполнителя сэндвичевой КСС оптимальной структуры

Если разработчик исходит из реализации в изделии заполнителей из прошедшего паспортизацию ПКМ, то в его распоряжении имеется экспериментально определенный комплект ФМХ применяемого материала, которой, как правило, достаточен для приближенного определения ФМХ несущих обшивок и самих заполнителей при различных схемах их армирования, ориентируясь на современный уровень теории деформирования и критерии прочности ортотропных ПКМ, а также существующие средства инженерного анализа, которые позволяют разработчику синтезировать оптимальные параметры сэндвичевой КСС.

Рассмотрим более детально принципиальную схему многоуровневого синтеза композитных заполнителей оптимальной структуры армирования (рис. 1). Исходными документами на создание изделия РКТ являются техническое условие (ТУ) и техническое задание (ТЗ) на проектирование агрегата, составленные его заказчиком совместно с разработчиком (блок 1). При составлении этих документов его авторами четко сформулированы цель и задачи, решаемые данным проектом в глобальном аспекте.

Для удовлетворения этой цели, определяющей условия эксплуатации агрегата, и задач, принципиально обеспечивающих эти условия, формулируются ТУ и ТЗ на реализацию конкретной КСС агрегата (блок 2): сэндвичевая конструкция с различными видами заполнителя из ПКМ (блоки 3 – 6). Каждый из этих блоков последовательно или выборочно реализуется одним из системных

блоков 7 – 9 в зависимости от уровня информации, которой располагает разработчик проекта на начальных стадиях проектирования агрегата и от решаемой им задачи.

Третьему уровню информации (блок 7) соответствует задача проектирования агрегата сэндвичевой КСС из паспортизованного ПКМ, для которого обычно известны практически все ФМХ как однонаправленного монослоя, так и материала симметричной схемы армирования, определенные экспериментально в соответствии со стандартными методами испытаний [9]. Такая задача может ставиться в условиях, когда разработчик агрегата имеет на предприятии в достаточном количестве препреги для этого ПКМ и отработанную технологию его формования, рекомендованную поставщиком. При этом принято решение на уровне ТЗ и ТУ на данную КСС о достаточности ФМХ и прочностных свойств этого ПКМ для разрабатываемого агрегата с выбранным типом заполнителя. Это решение может быть продиктовано временными или материальными (финансовыми) ограничениями.

Второму уровню информации (блок 9) соответствует задача проектирования агрегата сэндвичевой КСС из однонаправленных монослоев препрега, для которых известны все ФМХ и прочностные свойства, полученные в результате физического эксперимента надежным источником информации или непосредственным разработчиком агрегата (блок 15). Этой задаче соответствуют менее жесткие, чем в предыдущем случае, временные и материальные ограничения на создание агрегата из ПКМ и разработчик желает получить более широкие сведения о технологических возможностях композита.

Примером информации второго уровня могут служить данные о композите, содержащие не только его ФМХ и прочностные свойства, но соответствующий технологический режим формования [10].

Второй уровень информации предусматривает использование теории симметрично армированных структур [11] (блок 18), а также (при необходимости) современных средств конечно-элементной поддержки, основанных на современных САЕ-системах (блок 12) [12, 13].

Первый уровень информации используется для анализа и решения задач приближенного прогнозирования ПКМ, обеспечивающего оптимальную комбинацию специальных ФМХ, прочности, теплофизических и других свойств на основе неполных, в ряде случаев отрывочных, сведений о свойствах компонентов композита: волокнах и связующем, входящих в другие классы этих составляющих композита.

Этой задаче соответствует выявление того или иного сочетания характеристик составляющих и самих ПКМ, обеспечивающих им вероятное максимальное значение.

Решение задачи предусматривает выявление и формирование в блоке 16 на основе литературных данных (блок 13) таких свойств компонентов ПКМ, в том числе и при использовании своих экспериментальных данных (блок 10), которые в последующем блоке 17 на основе теории армирования формируют свойства однонаправленного монослоя ПКМ. При этом используются приближенные соотношения ФМХ, прочности и теплофизических свойств блока 11, статистические данные по свойствам компонентов (блок 14) на основе многократного взаимодействия с этими блоками, а также обращения в блок 12 конечно-элементной поддержки и блок 15, содержащий неполные данные физического эксперимента. Результаты целенаправленного формирования

однонаправленного монослоя ПКМ поступают в блок 18, где на основе механики ПКМ вычисляются ФМХ и другие свойства симметрично армированных структур с углами укладки волокон $\pm\phi$.

Из схемы рис. 1 видно, что в случае решения задачи на основе второго уровня информации данные поступают в блок 18 из блока 15, минуя цепочку блоков 16 и 17 и взаимосвязанных с ними блоков 10 и 11. Результаты целенаправленного формирования симметрично армированных структур являются исходной информацией блока 19, в котором на основе соответствующих математических моделей заполнителя определяются его приведенные ФМХ (блок 20).

Поступающих в блок 19 данных достаточно для приближенного определения приведенных ФМХ заполнителей при различных схемах их армирования, ориентируясь на существующие общепринятые аналитические зависимости для их нахождения. Тут следует отметить, что для традиционно используемых заполнителей, например сотового и гофрового, изготовленных из изотропных материалов, эти зависимости получены довольно давно [2], откорректированы с учетом различных факторов [14, 15 и др.], для некоторых, например трубчатого, эти зависимости были получены только недавно [16, 17], а для ячеистых – или отсутствуют вовсе, или существуют для очень узкой номенклатуры, что связано с большим объемом вычислений при расчете геометрических параметров даже простейших – четырехлучевых структур [18]. По-видимому, существующие зависимости могут быть вполне справедливыми и для заполнителей, изготовленных из ортотропных ПКМ. Подтверждением этому может служить наша работа [19], в которых дана оценка точности аналитических зависимостей [2] применительно к сотовому заполнителю из углепластика. Однако в рамках предлагаемого концептуального подхода предусмотрено использование помимо приближенных аналитических зависимостей конечно-элементной поддержки для определения ФМХ заполнителей (блок 12). Подход к получению величин ФМХ или корректировке существующих аналитических зависимостей для композитных сэндвичевых структур с помощью конечно-элементной поддержки зарекомендовал себя в качестве эффективной альтернативы натурным испытаниям реальных опытных образцов, что позволяет существенно снизить материальные и временные затраты [20, 21]. Подтверждением этому может служить сообщение [22], в котором отмечается, что ведущая аэрокосмическая корпорация The Boeing Company при разработке самолета Boeing-787 уменьшила количество натуральных испытаний опытных образцов в семь раз за счет их замены численными (виртуальными) экспериментами.

Однако следует отметить, что численное моделирование и виртуальные проверки не могут полностью заменить реальные опытные образцы и натурные испытания. Они позволяют лишь сократить число изготавливаемых образцов, существенно снижая материальные и временные затраты [12, 13]. Здесь следует отметить еще одну из основных современных тенденций развития программных комплексов конечно-элементного анализа – процесс тотальной верификации САЕ-систем, вычислительных методов, конечно-элементных моделей и верификация результатов конечно-элементных решений путем их сопоставления с результатами экспериментальных исследований (Verification & Validation – процесс) [12, 13]. Поэтому наличие блока 15 физических экспериментов в предлагаемом концептуальном подходе является обязательным.

Результаты вычислений блоков 19 и 20 оцениваются в блоке 21 по соответствующим критериям оптимальности, регламентированным при постановке задачи ТЗ и ТУ в блоке 1 и последующих блоках 2 – 6.

Критериальная оценка результатов блока 21 является заключительной при многоуровневом синтезе заполнителя сэндвичевой КСС из ПКМ оптимальной структуры. Из схемы рис. 1 видно, что в случае решения задачи на основе третьего уровня информации данные блока 7 поступают непосредственно в блок 19, минуя блоки 10 и 11, обеспечивая самый короткий путь решения задачи.

Изложенный выше концептуальный подход к формированию оптимальных ФМХ композитных сэндвичевых структур с различными типами заполнителей достаточно хорошо проявил себя при решении ряда практических задач, направленных на упрощение проведения проектировочных и поверочных расчетов рассматриваемого класса конструкций. Так авторским коллективом были решены следующие задачи.

1. Оценено влияние различных схем армирования углесотопласта на его приведенные ФМХ [23]. Показано, что максимальные величины модулей упругости при поперечном растяжении углесотопласта соответствуют схеме армирования $[\pm 75^\circ]$, а при сдвиге – $[\pm 45^\circ]$. Определена рациональная схема армирования углесотопласта $[\pm 64^\circ]$, обеспечивающая одновременно высокий уровень всех ФМХ (рис. 2).

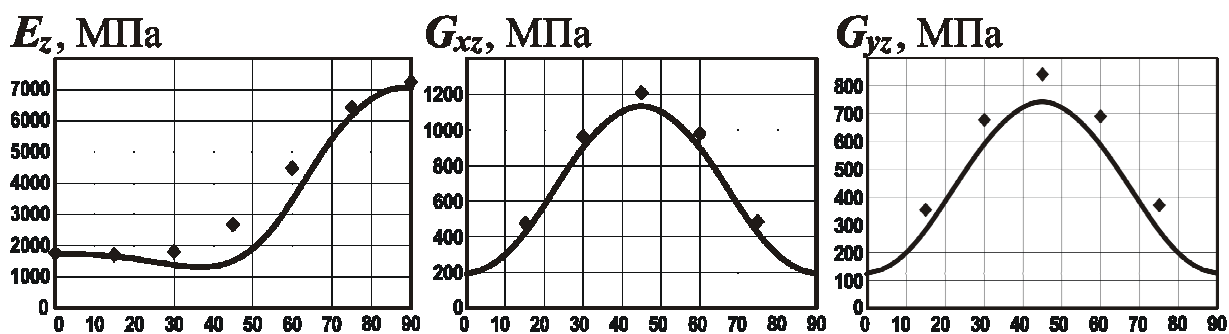


Рис. 2. Зависимость модуля упругости углесотопласта E_z и сдвига G_{xz} и G_{yz} от угла его армирования:

— аналитическое определение; \blacklozenge полученное на основе численного эксперимента с использованием конечно-элементных моделей

2. При помощи конечно-элементной поддержки получены величины приведенных ФМХ сотового, трубчатого, гофрового и складчатого заполнителей с ячеистой структурой из ПКМ (рис. 3), дана оценка точности приближенных зависимостей ФМХ, описываемых общепринятыми формулами, в сравнении с результатами серии численных экспериментов, имитирующих натурные, и установлена применимость полученных результатов на начальных стадиях проектирования сэндвичевых конструкций РКТ [24 – 26].

3. Определен эффективный коэффициент теплопроводности сотового заполнителя [27].

4. Синтезированы приближенные зависимости ФМХ углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ), с помощью которых проведен анализ степени и характера изменения терморазмеростабильности структуры полимерного композита после ее карбонизации и превращения в УУКМ [28, 29].

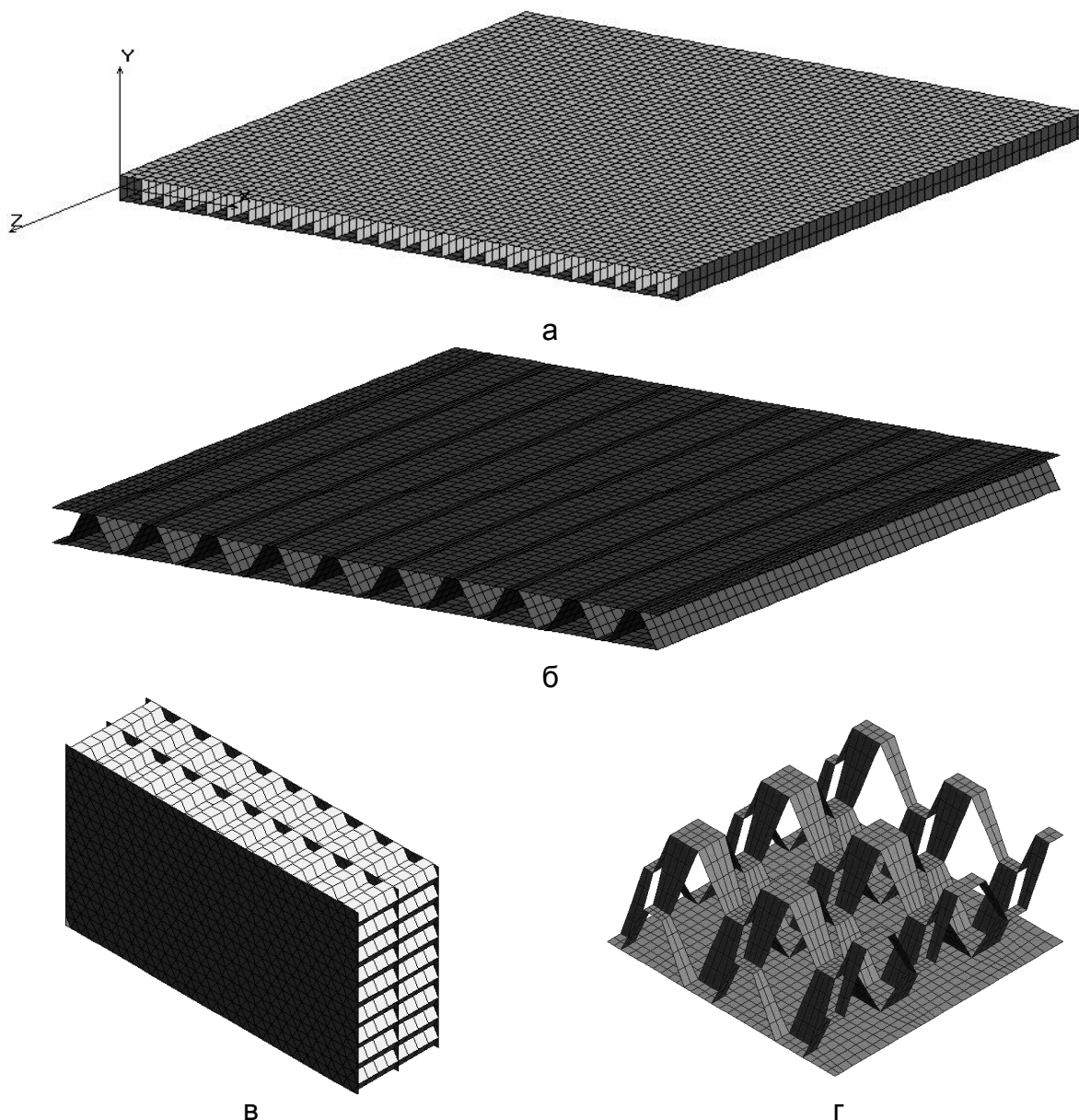


Рисунок 3 – Пример сгенерированных конечно-элементных моделей, используемых для определения приведенных ФМХ различных типов композитных заполнителей:
а – трубчатый, б – гофрированный; в – сотовый, г – складчатый с ячеистой структурой

Выводы

Таким образом, предложен и реализован концептуальный подход к формированию ФМХ сэндвичевых структур композитных конструкций РКТ. Показано, что информация о свойствах ПКМ зависит от степени освоения материала и требований ТЗ на проектируемый агрегат. Разработана реализующая этот подход принципиальная схема многоуровневого синтеза заполнителя для сэндвичевой КСС агрегата оптимальной структуры армирования, обеспечивающая наиболее эффективное решение поставленной задачи при различных уровнях информации о свойствах используемого в проекте изделия полимерного композита на основе их приближенных и точных взаимозависимостей.

Список литературы

1. Перспективы космических исследований Украины [Текст]: сб. статей / под ред. О.П. Федорова. – К.: Академперіодика, 2011. – 240 с.
2. Панин, В.Ф. Конструкции с заполнителем [Текст]: справ. / В.Ф. Панин, Ю.А. Гладков – М.:Машиностроение,1991. –272 с.
3. Сотовые заполнители и панельные конструкции космического назначения [Текст]: моногр.: в 2 т. / А.В. Гайдачук, О.А. Карпикова, А.В. Кондратьев, М.В. Сливинский; под. ред. А.В. Гайдачука – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2012. – Т. 1: Технологические несовершенства сотовых заполнителей и конструкций. – 279 с.
4. Двейрин, А.З. Анализ эффективности внедрения интегральных конструкций с трубчатыми элементами из полимерных композиционных материалов [Текст] / А.З. Двейрин, Е.В. Майорова // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4 (68).– Х., 2011. – С. 65 – 77.
5. Прадченко, А.В. Проектирование каркаса типовых панелей солнечных батарей с гофрированным заполнителем из полимерных композиционных материалов методом конечных элементов стандартным программным комплексом [Текст] / А.В. Прадченко // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні. ІКТМ 2009: міжнар. наук.-техн. конф. : тези доп. –Х., 2009. – С. 70.
6. Перспективы применения складчатых структур как альтернативных материалов заполнителя сэндвичевой панели [Электронный ресурс] / В.И. Халиулин, В.В. Батраков, И.В. Двоглазов, К. Мудра // Тр. 4-й Московской междунар. конф. «Теория и практика технологии производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов» 26 – 29 апреля 2005 г. – Режим доступа: <http://pandia.org/text/77/288/3793.php>
7. Кириченко, В.В. Анализ эффективности схем армирования несущих обшивок и оптимизации свойств сотового заполнителя трёхслойных оболочечных конструкций летательных аппаратов [Текст] / В.В. Кириченко, А.В. Кондратьев // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 43(4). – Х., 2005. – С. 27 – 38.
8. Гайдачук, В.Е. Концептуальный подход к формированию физико-механических характеристик и прочностных свойств сотовых заполнителей для терморазмеростабильных конструкций космического назначения [Текст] / В.Е. Гайдачук, А.Ф. Санин, М.Е. Харченко // Вестник Евразийского национального университета им. Л.Н.Гумилева. – №. 4(95). – 2013. – С. 259 – 264.
9. 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.
10. Михайлин, Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы [Текст] / Ю.А. Михайлин. – СПб.: НОТ, 2008. – 822 с.
11. Васильев, В.В. Механика конструкций из композиционных материалов [Текст] / В.В. Васильев. – М.: Машиностроение, 1988. – 264 с.
12. Компьютерный инжиниринг [Текст]: серия докл. / А.И. Боровков, С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин, М.П. Мельникова и др. – Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-

Петербургский государственный политехнический университет»: Санкт-Петербург, 2012. – Вып. 2 – 93 с.

13. Ларссон, Я. Проектирование на основе численного моделирования [Текст] / Я. Ларссон // САПР и графика. – 2011. – № 12. – С. 34 – 36.

14. Кондратьев, А.В. Определение модуля нормальной упругости сотового заполнителя при поперечном сжатии с учетом начального технологического несовершенства фольги [Текст] / А.В. Кондратьев, Л.Н. Грицкив // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 51(4). – Х., 2007. – С. 131 – 139.

15. Гайдачук, В.Е. Корректировка существующих аналитических зависимостей физико-механических характеристик сотового заполнителя с учетом его высоты [Текст] / В.Е. Гайдачук, В.В. Кириченко, А.В. Кондратьев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2008. – Вып. 40. – С. 5 – 12.

16. Гайдачук, В.Е. Приведенные физико-механические характеристики трубчатого заполнителя для трехслойных конструкций летательных аппаратов [Текст] / В.Е. Гайдачук, А.В. Кондратьев, Е.В. Омельченко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2009. – Вып. 44. – С. 67 – 78.

17. Приведенные физико-механические характеристики композиционного материала с трубчатыми элементами [Текст] / В.В. Кириченко, А.В. Кондратьев, Е.В. Омельченко, А.В. Губа // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2010. – Вып. 48. – С. 154 – 166.

18. Хасанов, А.Р. Разработка элементов системы автоматизации инженерных расчётов для синтеза складчатых заполнителей многослойных панелей авиационных конструкций [Текст] / А.Р. Хасанов, К.А. Алексеев // Ползуновский альманах. – 2010. – №2. – С. 322 – 326.

19. New possibilities in creating of effective composite size-stable honeycomb structures designed for space purposes (Conference Paper) [Text] / V.I. Slyvynskiy, V.A. Kovalenko, A.V. Kondratjev, M.E. Kharchenko // 64th International Astronautical Congress, IAC 2013. Beijing, China, 23 – 27 September 2013. – Red Hook, NY: Curran, 2013. – Vol. 7. – P. 5643 – 5655.

20. МКЭ-поддержка экспериментов по определению полного набора упругих констант ортотропных полимерных композитов [Текст] / В.А. Акопьян, В.Н. Аксенов, Е.В. Рожков и др. // Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов. Идентификация и моделирование свойств материалов и технологических процессов: тр. 5-й Московской междунар. конф. 24-27 апреля 2007; под ред. К.В. Фролова, О.С. Сироткина, В.С. Боголюбова. – М.: Знание, 2008. – С. 437 – 442.

21. Оценка физико-механических характеристик углесотопласта различной схемы армирования при помощи МКЭ-поддержки [Текст] / В.Е. Гайдачук, В.В. Кириченко, А.В. Кондратьев, В.И. Сливинский // Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники : сб. материалов IV междунар. науч.-практ. конф. / Укр. НИИ технологий машиностроения. – Днепропетровск, 2011. – С. 54 – 59.

22. Дерюгин, Ю.Н. Суперкомпьютерные технологии в промышленности. Опыт применения и актуальные задачи [Электронный ресурс] / Ю.Н. Дерюгин // Тр. 4-го Московского суперкомпьютерного форума 23 октября 2013 г. – Режим доступа: www.ospcon.ru/files/media/Deryugin.pdf

23. Определение рациональной схемы армирования углесотопласта при помощи МКЭ-поддержки [Текст] / В.Е. Гайдачук, В.И. Сливинский, А.В. Кондратьев, М.Е. Харченко // Системные технологии: региональный межвузовский сб. науч. трудов. – Вып. 2 (79). – Днепропетровск, 2012. – С. 3 – 12.

24. Оценка физико-механических характеристик углесотопласта различной схемы армирования при помощи МКЭ-поддержки [Текст] / В.Е. Гайдачук, В.В. Кириченко, А.В. Кондратьев, В.И. Сливинский // Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники: сб. материалов IV междунар. науч.-практич. конф., Днепропетровск 01 – 03 июня 2011 г. / Укр. НИИ технологий машиностроения. – Днепропетровск, 2011. – С. 54 – 59.

25. Кондратьев, А.В. Определение физико-механических характеристик композитной трубчатой структуры при помощи МКЭ-поддержки и сравнение их с аналитическими результатами [Текст] / А.В. Кондратьев, Е.В. Майорова, К.Д. Стэнлиэ // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2012. – Вып. 53. – С. 124 – 131.

26. Кондратьев, А.В. Определение физико-механических характеристик ячеистого заполнителя [Текст] / А.В. Кондратьев, В.А. Чижов / Сучасні проблеми ракетно-космічної техніки і технології : тез. доп. наук.-техн. конф. молоді та студентства / Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАИ». –Х., 2012. – С. 125 – 126.

27. Определение эффективного коэффициента теплопроводности сотового заполнителя методом электротепловой аналогии [Текст] / В.Г. Тихий, А.В. Кондратьев, А.Г. Смоленко, В.Л. Кириченко // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2 (70). – Х., 2012. – С. 66 – 76.

28. Гайдачук, В.Е. Анализ создания терморазмеростабильных конструкций космического назначения из углерод-углеродных композиционных материалов [Текст] / В.Е. Гайдачук, М.Е. Харченко, А.Ф. Санин, // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2013. – Вып. 62. – С. 71 – 79.

29. Гайдачук, В.Е. Анализ степени и характера изменения терморазмеростабильности структуры полимерного композита после ее карбонизации [Текст] / В.Е. Гайдачук, А.В. Кондратьев, М.Е. Харченко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 3(110). – С. 4 – 7.

Рецензент: д-р техн. наук, глав. науч. сотр. В.И. Сливинский,
ПАО «Украинский научно-исследовательский институт
технологии машиностроения», Днепропетровск.
Поступила в редакцию 18.12.14.

Концептуальний підхід до формування фізико-механічних характеристик сендвічевих структур композитних конструкцій ракетно-космічної техніки

Запропоновано концептуальний підхід до формування фізико-механічних характеристик сендвічевих структур композитних конструкцій ракетно-космічної техніки. Показано, що інформація про властивості полімерних композитів залежить від ступеня освоєння матеріалу і вимог технічного завдання на агрегат, що проектується. Розроблено принципову схему багаторівневого синтезу заповнювача оптимальної структури армування, що реалізує цей підхід. Схема забезпечує найбільш ефективне вирішення поставленої задачі при різних рівнях інформації про властивості полімерного композиту, який використовується в проекті виробу.

Ключові слова: концептуальний підхід, формування фізико-механічних характеристик, полімерні композиційні матеріали.

Conceptual approach to the development of the physical-mechanical properties of sandwich composite structures for rocket and space technology

Conceptual approach to the development of the physical-mechanical properties of sandwich composite structures for rocket and space technology is proposed. It is shown that information about the properties of polymer composites depends on the degree of material development and the requirements from technical specification on the designed unit. The principal scheme of multi-level synthesis of filler with optimal reinforcement structure that provides the most efficient solution of the given problem at different levels of information about properties of polymer composite used in the project is developed.

Keywords: conceptual approach, the development of physical-mechanical properties, polymer composites.