

===== ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ =====

УДК 629.78

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОТОВЫХ ПАНЕЛЕЙ В КОРПУСЕ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

© 2022 И.Е. Глазков, К.Ф. Матвеева

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва,
г. Самара, Россия

Статья поступила 24.11.2022

В данной статье рассмотрено применение сотовых панелей в корпусе космического аппарата. В настоящее время в международных космических программах все чаще реализуются программы по запуску в космос новых систем спутниковой связи и систем зондирования. Создание космических аппаратов нового поколения с повышенными требованиями к их качеству, надежности и конкурентоспособности на мировом рынке космических услуг требует разработки новых или усовершенствования существующих конструктивно-силовых схем. Развитие техники, в том числе авиационной и космической, предъявляет новые требования к применяемым в ней материалам, узлам и комплектующим и технологиям их изготовления. Использование новых материалов и повышение эксплуатационных характеристик существующих позволяет не только решать конкретные задачи в конструкциях изделий, но и повышать тактико-технические характеристики комплексов в целом.

Ключевые слова: трехслойная сотовая конструкция, сотовый заполнитель, космический аппарат, расчет на прочность, моделирование сотопанелей.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-6-135-140

ВВЕДЕНИЕ

Для космического аппарата важной характеристикой является масса, так как чем она больше, тем дороже будет стоить ее вывод на рабочую орбиту. Следовательно, для поддержания высокой конкурентной способности, конструкторам необходимо внедрять новые решения, с целью понижения массы аппарата. Один из путей достижения весовой эффективности космических аппаратов — изготовление их конструктивных элементов из новых материалов с максимальными удельными характеристиками прочности и жесткости, в частности трехслойных сотовых панелей с алюминиевыми или композитными обшивками[1-3].

CAE-системы – системы, позволяющие решать определенную расчетную задачу или группу задач, начиная от расчетов на прочность, анализа и моделирования тепловых процессов до расчетов гидравлических систем и машин, расчетов процессов литья.

В качестве исходных данных будет использованы входные воздействия при начале полета ракеты-носителя.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОТОПАНЕЛЕЙ

Идея повышения изгибной жесткости и устойчивости оболочек реализуется в виде многослойных панелей, таких как на рисунке 1. Они состоят из несущих слоев и заполнителя. Несущие слои выполняются либо из металла, либо из композита, и между ними помещается пенопластовый или сотовый заполнитель[4-8]. Несущие слои воспринимают нормальные и касательные усилия в плоскости панели, а заполнитель – по-перечную нагрузку.

Трехслойная сотопанель, показанная на рисунке 2, моделировалась с помощью элемента *Laminate*. Для каждого слоя задаются: материал, угол ориентации свойств материала и толщина слоя. Эти данные приведены в таблице 1. Помимо этого, вводятся: расстояние от нейтральной плоскости до нижнего слоя и Неконструкционная масса на единицу площади.

Сотовый заполнитель, который моделируется пластиной из ортотропного материала, имеющего такую же поперечную жесткость, как пакет сот, заданной ориентации. Характеристики ортотропного материала можно вычислить из модели сотового заполнителя, учитывающей разный удельный объем материала сот, работающей на сдвиг в направлении осей X и Z [9-12]. Предположим, что соты изготовлены из фольги с модулем сдвига G_0 и ориентированы так, как показано на рисунке 3, тогда:

Глазков Игорь Евгеньевич, аспирант.

E-mail: reiser733@yandex.ru

Матвеева Карина Федоровна, аспирант.

E-mail: matveeva_kf@mail.ru

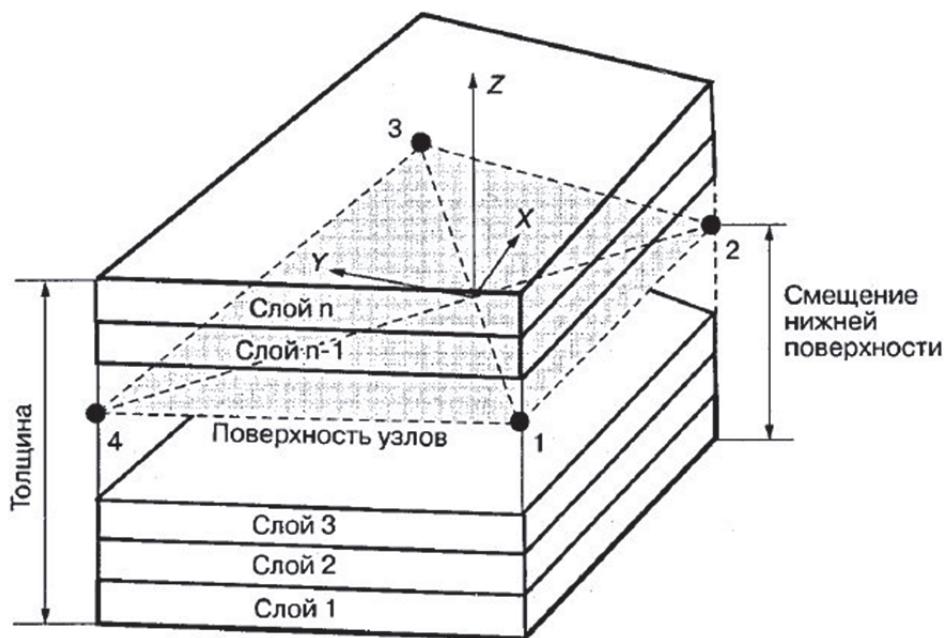


Рис. 1. Схема элемента Laminate

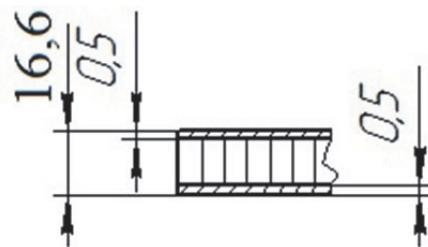


Рис. 2. Слои сотопанели
Материал сотопанели:
наружные слои – лист 0,5-Д16АТ
внутренний слой – соты АМГ6

Таблица 1. Свойства слоев сотопанели

№ слоя	Материал	Толщина, мм	Угол ориентации
1	Д16Т	0,5	180
2	Соты из Амг6	16,6	90
3	Д16Т	0,5	0

$$E_1 = E_2 \ll E \approx 1.0 \text{ МПа}; \\ G_{xz} \ll G_0 \approx 1.0 \text{ МПа}; G_{xy} = G_0 \frac{3\delta}{4r}, \quad (1)$$

$$G_{yz} = G_0 \frac{3\delta}{4r \cos 30^\circ}, \quad (2)$$

где x и z – оси в плоскости панели; у – ось нормали; δ – суммарная толщина фольги; r – радиус ячейки сот.

В данном случае будем использовать двухмерный ортотропный материал с модулями сдвига $G_{xy} = 1385 \text{ МПа}$, $G_{yz} = 1600 \text{ МПа}$.

Неконструкционная масса (NonStructural) учитывает массу немоделируемых в данной

модели элементов конструкции: аппаратуры, теплозащитное покрытие, замки и профили продольного и поперечного стыков, слои стеклоткани, наматываемые из технологических соображений, клеи и пр.

На рисунке 4 показано расположение 6 панелей относительно друг друга. Элементы рам и ферм скрыты для большей наглядности.

Панель крепится по краям к несущим фермам, снизу к нижней ферме, сверху соответственно к верхней при помощи абсолютно жесткого элемента RIGID, имитирующий закрепления клепками. Как видно на рисунке 5 элемент соединяет узлы сотопанели с узлами фермы через определенный шаг, соответствующий шагу клепки.

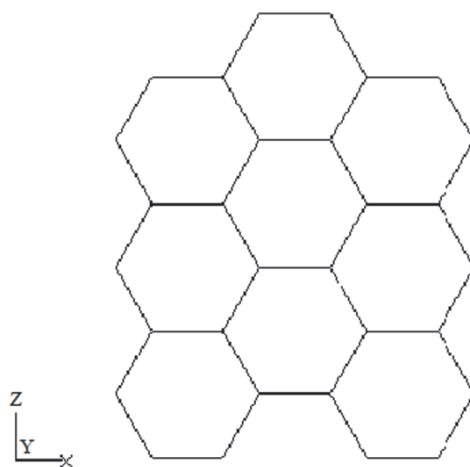


Рис. 3. Ориентация сот

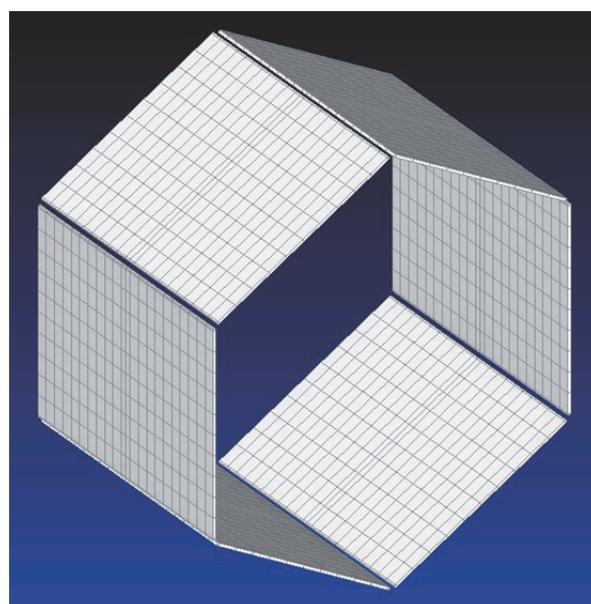


Рис. 4. Трехслойные панели корпуса ЭРТМ

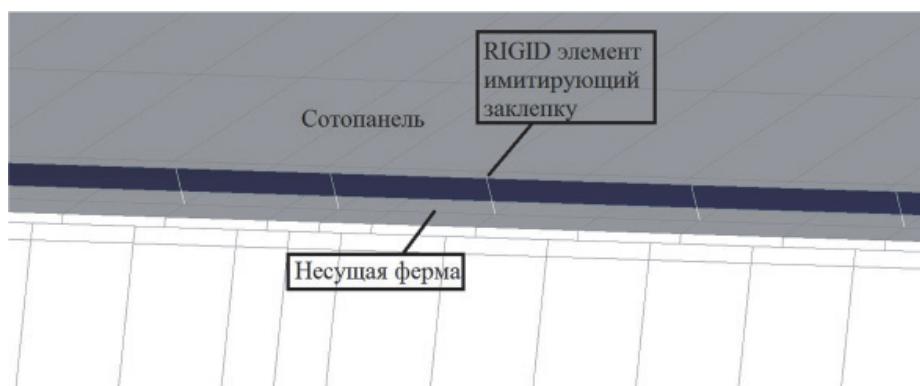


Рис. 5. Моделирование клепки

ПРОВЕДЕНИЕ РАСЧЕТОВ

После выполнения анализа расчетной модели программой Nastran результаты расчета импортируются или присоединяются к базе данных Femap в виде Output Set (Выходного на-

бора данных, или Набора результатов). Выходной набор данных содержит векторы (vectors) результатов.

Каждому вектору соответствует стандартный номер (ID) и стандартный заголовок (Title). Векторами результатов, например, мо-

гут быть полные перемещения узлов (Total translation), реакции в закрепленных узлах (Total constraint force), напряжения по Мизесу на верхней и на нижней поверхностях пластины (Plate Top VonMises Stress и Plate Bot VonMises Stress) и др. Таким образом, данные в векторах могут относиться либо к узлам, либо к элементам. Состав векторов Output Set определяется при формировании задания на выполнение анализа либо по умолчанию, либо назначается пользователем. По умолчанию для каждого вида анализа принимается свой состав Output Set.

В несущих слоях максимальные напряжения возникли в районе крепления балки, которая крепится к несущей ферме в районе фитинга и выше, на рисунке эту зону отчетливо видно [13-16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Было проведено исследование эффективности в целях проверки методики аналитического расчета несущей способности корпуса КА из сотовых панелей. Полученные данные имеют практическую значимость, их можно использовать в исследовательских институтах и конструкторских бюро при проектировании и расчетах конструкций подобных типов при рассматриваемом виде нагружения. Использование сотовых панелей значительно снижает вес КА, что позволит снизить стоимость пусковых услуг для заказчиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Композиционные материалы в конструкциях ле-

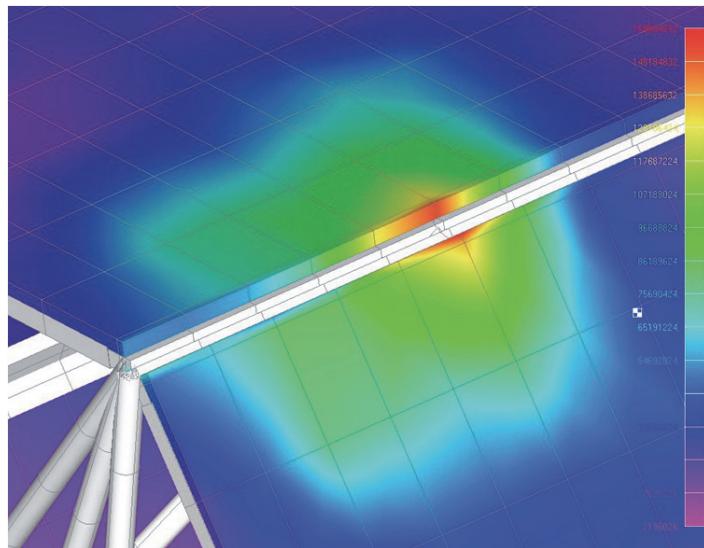


Рис. 6 – Напряженное состояние первого несущего стоя панели
Напряжение равно 159,7 МПа

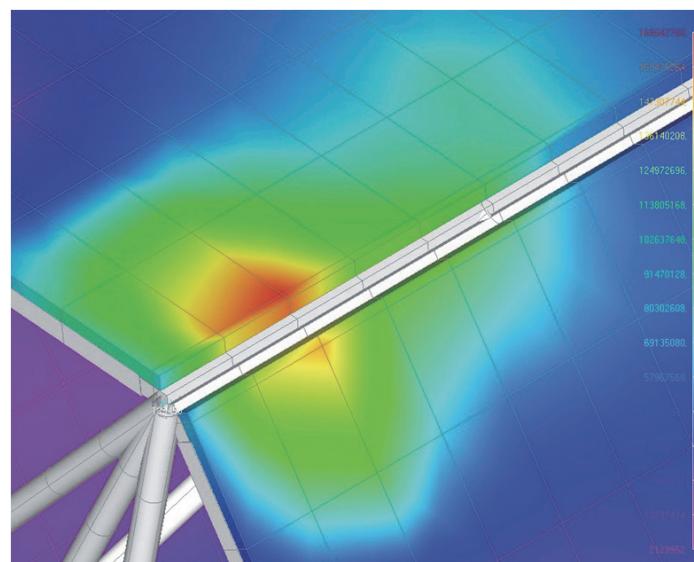


Рис. 7 – Напряжения в третьем слое панели
Напряжение в третьем несущем слое достигает 169,6 МПа

- тательных аппаратов [Текст] / под ред. А.Л. Абивова. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.
2. Справочник по композиционным материалам: в 2-х кн. – Кн. 2. [Текст]: пер. с англ. / Под ред. Дж. Любина. – М.: Машиностроение, 1988. – 580 с.
 3. Акишин, А.И. Воздействие окружающей среды на материалы космических аппаратов / А.И. Акишин, Л.С. Новиков // Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия». Знание. – М.: 1983. – № 4. – 64 с.
 4. Молодцов, Г.А. Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композиционных материалов: научное издание / Г.А.Молодцов, В.Е. Биткин, В.Ф. Симонов, Ф.Ф. Урмансов. – М.: Машиностроение, 2000. – 352 с.
 5. Шиманский Ю.А. Динамический расчёт судовых конструкций / Ю.А. Шиманский/ – Л.: Гос. издат. судостроительной промышленности, 1963. – С. 444.
 6. Бобков, В.Н. Космические аппараты: учебник / В.Н. Бобков [и др.]. – М.: Воениздат, 1983. – 319 с.
 7. Тестоедов, Н.А. Технология производства космических аппаратов: учебник / Н.А. Тестоедов, М.М. Михнев, А.Е.Михеев. – Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмч. ун-т, 2009. – 352 с.
 8. Харченко, М.Е. Обзор и анализ состояния разработки формостабильных композитных конструкций космического назначения / М. Е. Харченко // Системні технології / Регіональний міжвуз. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, – 2013. – № 4(87). – С. 180-186.
 9. Банщикова, М.Н. Совершенствование технологии изготовления изделий из полимерных композиционных материалов на основе анализа кинетики процессов / М.Н. Банщикова, Е.А. Жирнова // Материалы XVIII Международной научно–технической конференции «Решетневские чтения». – 2014. – Т. 1. – С. 382–383.
 10. Брызгалин, Г.И. О многоцелевом проектировании волокнистых композитных материалов / Г.И. Брызгалин, С.Д. Копейкин // Механика композитных материалов. – 1980.– № 33.– С. 404-408.
 11. Шатров, А.К. Расчет на прочность и проектирование элементов конструкций из композиционных материалов: учеб. пособие / А. К. Шатров, Л.А. Доставалова, В. Н. Наговицын. – Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмч. ун-т, 2005. – 76 с.
 12. Портной, К.И. Структура и свойства композиционных материалов: учебник / К.И. Портной, С.Е. Салибеков, И.Л. Светлов, В.М. Чубаров. – М.: Машиностроение, 1979. – 255 с.
 13. Любин, Дж. Справочник по композиционным материалам: в 2 т. / Под ред. Дж. Любина. – М.: Машиностроение, 1988. – Т.1. – 448 с.
 14. Буланов, И.М. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: учебник для вузов / И.М. Буланов, В.В. Воробей. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 516 с.
 15. Данилов, Е.Н. Применение современных технических решений в технологии производства прецизионных рефлекторов / Е.Н. Данилов, М.М. Михнев, Е.В. Патраев, В.Е. Чичурин// труды V Общероссийской молодежной науч.-техн. конф. «Молодежь. Техника. Космос» / Балт. гос. техн. ун-т.; Библиотека журнала «ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ». – Санкт-Петербург. 2013. – № 17. – С. 280 – 285.
 16. Кочеткова, С.С. Силовая рама как элемент конструкции крупногабаритного рефлектора / С.С. Кочеткова, В.Е. Чичурин, В.В. Лайзан, В.В. Болгов, В.Б. Тайгин // Материалы XXII Международной научно– технической конференции «Решетневские чтения». – Красноярск. 2018. – Т.1. – С. 131–132.
 17. Батаев, А.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: учебник / А.А. Батаев, В.А. Батаев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF CELLULAR PANELS IN THE SPACECRAFT BODY

© 2022 I.E. Glazkov, K.F. Matveeva

Samara National Research University named after Academician S. P. Korolyov, Samara, Russia

This article discusses the use of cellular panels in the spacecraft body. Currently, international space programs are increasingly implementing programs to launch new satellite communication systems and sensing systems into space. The creation of a new generation of spacecraft with increased requirements for their quality, reliability and competitiveness in the global space services market requires the development of new or improvement of existing structural and power circuits. The development of technology, including aviation and space, imposes new requirements on the materials used in it, components and components and technologies for their manufacture. The use of new materials and the improvement of the operational characteristics of existing ones allows not only to solve specific tasks in the designs of products, but also to improve the tactical and technical characteristics of the complexes as a whole.

Keywords: three-layer honeycomb structure, honeycomb filler, spacecraft, strength calculation, modeling of honeycomb panels.

DOI: 10.37313/1990-5378-2022-24-6-135-140

REFERENCES

1. Kompozicionnye materialy v konstrukciyah letatel'nyh apparatov [Tekst] / pod red. A.L. Abibova. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 272 s.
2. Spravochnik po kompozicionnym materialam: v 2-h kn. – Kn. 2. [Tekst]: per. s angl. / Pod red. Dzh. Lyubina. – M.: Mashinostroenie, 1988. – 580 s.
3. Akishin, A.I. Vozdejstvie okruzhayushchej sredy na materialy kosmicheskikh apparatov / A.I. Akishin,

- L.S. Novikov // *Novoe v zhizni, nauke, tekhnike. Ser. «Kosmonavtika, astronomiya».* Znanie. – M.: 1983. – № 4. – 64 s.
4. Molodcov, G.A. *Formostabil'nye i intellektual'nye konstrukcii iz kompozicionnyh materialov: nauchnoe izdanie / G.A.Molodcov, V.E. Bitkin, V.F. Simonov, F.F. Urmansov.* – M.: Mashinostroenie, 2000. – 352 s.
5. Shimanskij Yu.A. *Dinamicheskij raschyt sudovyh konstrukcij / Yu.A. Shimanskij* – L.: Gos. izdat. sudostroitel'noj promyshlennosti, 1963. – S. 444.
6. Bobkov, V.N. *Kosmicheskie apparaty: uchebnik / V.N. Bobkov [i dr.]* – M.: Voenizdat, 1983. – 319 s.
7. Testoedov, N.A. *Tekhnologiya proizvodstva kosmicheskikh apparatov: uchebnik / N.A. Testoedov, M.M. Mihnev, A.E.Miheev.* – Krasnoyarsk: Sib. gos. aerokosmch. un-t, 2009. – 352 s.
8. Harchenko, M.E. *Obzor i analiz sostoyaniya razrabotki formostabil'nyh kompozitnyh konstrukcij kosmicheskogo naznacheniya / M. E. Harchenko // Sistemni tekhnologii / Regional'nij mizhvuz. zb. nauk. prac'.* – Dnipropetrov'sk, 2013. – № 4(87). – S. 180-186.
9. Banshchikova, M.N. *Sovershenstvovanie tekhnologii izgotovleniya izdelij iz polimernyh kompozicionnyh materialov na osnove analiza kinetiki processov / M.N. Banshchikova, E.A. Zhirnova // Materialy XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Reshetnevske chteniya».* – 2014. – T. 1. – S. 382-383.
10. Bryzgalin, G.I. *O mnogocelevom proektirovaniyu voloknistyh kompozitnyh materialov /G.I. Bryzgalin, S.D. Kopejkin // Mekhanika kompozitnyh materialov.* – 1980. – № 33.– S. 404-408.
11. SHatrov, A.K. *Raschet na prochnost' i proektirovaniye elementov konstrukcij iz kompozicionnyh materialov: ucheb. posobie / A. K. SHatrov, L.A. Dostavalo, V. N. Nagovicin.* – Krasnoyarsk: Sib. gos. aerokosmch. un-t, 2005. – 76 s.
12. Portnoj, K.I. *Struktura i svojstva kompozicionnyh materialov: uchebnik / K.I. Portnoj, S.E. Salibekov, I.L. Svetlov, V.M. CHubarov.* – M.: Mashinostroenie, 1979. – 255 s.
13. Lyubin, Dzh. *Spravochnik po kompozicionnym materialam: v 2 t. / Pod red. Dzh. Lyubina.* – M.: Mashinostroenie, 1988. – T.1. – 448 s.
14. Bulanov, I.M. *Tekhnologiya raketnyh i aerokosmicheskikh konstrukcij iz kompozicionnyh materialov: uchebnik dlya vuzov / I.M. Bulanov, V.V. Vorobej.* – Moskva: MGTU im. N.E. Baumana, 1998. – 516 s.
15. Danilov, E.N. *Primenenie sovremennyh tekhnicheskikh reshenij v tekhnologii proizvodstva precizionnyh reflektorov / E.N. Danilov, M.M. Mihnev, E.V. Patraev, V.E. Chichurin// trudy V Obshcherossijskoj molodezhhnoj nauch.-tekhn. konf. «Molodezh'. Tekhnika. Kosmos» / Balt. gos. tekhn. un-t.; Biblioteka zhurnala «VOENMEKH. Vestnik BGU.* – Sankt-Peterburg, 2013. – №17. – S.280-285.
16. Kochetkova, S.S. *Silovaya rama kak element konstrukcii krupnogabaritnogo reflektora / S.S. Kochetkova, V.E. CHichurin, V.V. Lajzan, V.V. Bolgov, V.B. Tajgin // Materialy HXII Mezhdunarodnoj nauchno- tekhnicheskoy konferencii «Reshetnevske chteniya».* – Krasnoyarsk. 2018. – T.1. – S. 131-132.
17. Bataev, A.A. *Kompozicionnye materialy: stroenie, poluchenie, primenenie: uchebnik / A.A. Bataev, V.A. Bataev.* – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2002. – 384 s.