

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КОМПОЗИТНЫХ ОБШИВОК СУХИХ ОТСЕКОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ NASTRAN

Исследования, посвященные минимизации массы летательных аппаратов, никогда не перестанут быть актуальными. Снижение массы позволяет снизить затраты на производство летательного аппарата, уменьшить динамические нагрузки, возникающие при транспортировке и в процессе его полета, а также уменьшить количество необходимого для полета топлива. Ставилась цель получения обшивки, обеспечивающей наибольший коэффициент запаса общей устойчивости и максимальную прочность отсека при условии минимизации его массы. Исследования проводились путем моделирования напряженно-деформированного состояния обшивок с помощью метода конечных элементов в системе Nastran. Для исследования использовалась слоистая модель, состоящая из различно армированных слоев композиционного материала заданной толщины.

В результате расчета на прочность и устойчивость различных обшивок было установлено, что оптимальными схемами укладки четырехслойных обшивок являются схемы, имеющие внутренние слои (наиболее близкие к продольной оси отсека), армированные под углами, и внешний слой, армированный под углом. Отсутствие различия в устойчивости и прочности обшивок в случае взаимной перемены мест слоев, армированных под углами, обеспечивает возможность замены этих двух слоев одним ортотропным слоем. При моделировании сухих отсеков летательных аппаратов предпочтение необходимо отдавать четырехслойным обшивкам, имеющим схему расположения слоев (45, -45, 0, 90).

Исследовалось влияние изменения количества четырехслойных пакетов слоев обшивки на ее прочность и устойчивость, при этом толщина обшивки принималась неизменной. Было установлено, что эпюры напряжений и максимальные напряжения, возникающих в обшивках, одинаковы, а коэффициент запаса общей устойчивости возрастает с увеличением числа пакетов слоев. Причем, существенное увеличение коэффициента запаса устойчивости происходит только при использовании двух пакетов слоев, поэтому при моделировании обшивок из большего количества пакетов слоев рекомендуется использовать технико-экономические расчеты.

Ключевые слова: композиционный материал, обшивка, прочность, устойчивость, слой, оптимизация.

В качестве одного из основных направлений совершенствования конструкций летательных аппаратов является использование композиционных материалов. Высокие удельные характеристики композитов реализуются в направлении армирования, и от того, как эффективно их удастся использовать в конкретных элементах конструкции, испытывающих воздействие определенного сочетания силовых факторов, зависит величина снижения массы всей конструкции [1]–[7], [12]–[18]. Таким образом, использование композиционных материалов, обуславливает необходимость развития методов расчета и проектирования конструкций на их основе.

Целью исследования является определение оптимального расположения и количества различно армированных слоев обшивки, выполненной из композиционного материала.

Существует множество вариантов взаимного расположения различно армированных слоев обшивки. В большинстве случаев используются четырехслойные обшивки [5], [6]. Определим оптимальное расположение слоев, обеспечивающее наибольший коэффициент

запаса общей устойчивости и максимальную прочность сухого отсека при сохранении постоянной массы. Для этого исследуем напряженно-деформированное состояние цилиндрического сухого отсека с помощью Nastran.

Для моделирования композиционной обшивки в Nastran использовалась слоистая модель (рисунок 1). Данная модель состоит из слоев, ориентация каждого из которых опреде-

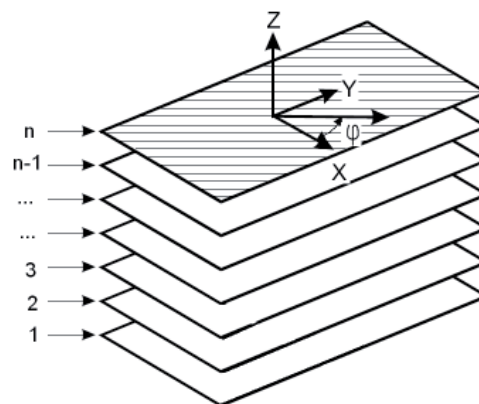


Рисунок 1. Слоистая модель

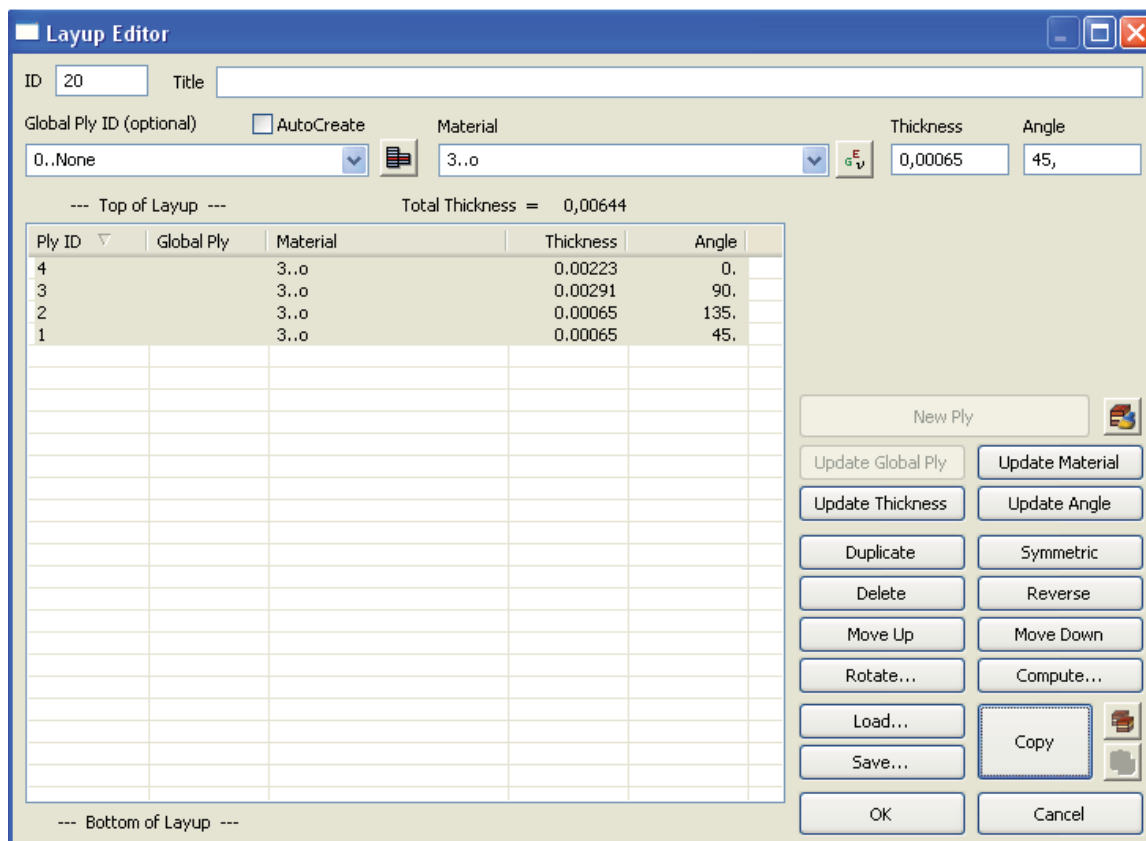


Рисунок 2. Компоновка слоев обшивки (схема укладки 45, -45, 90, 0)

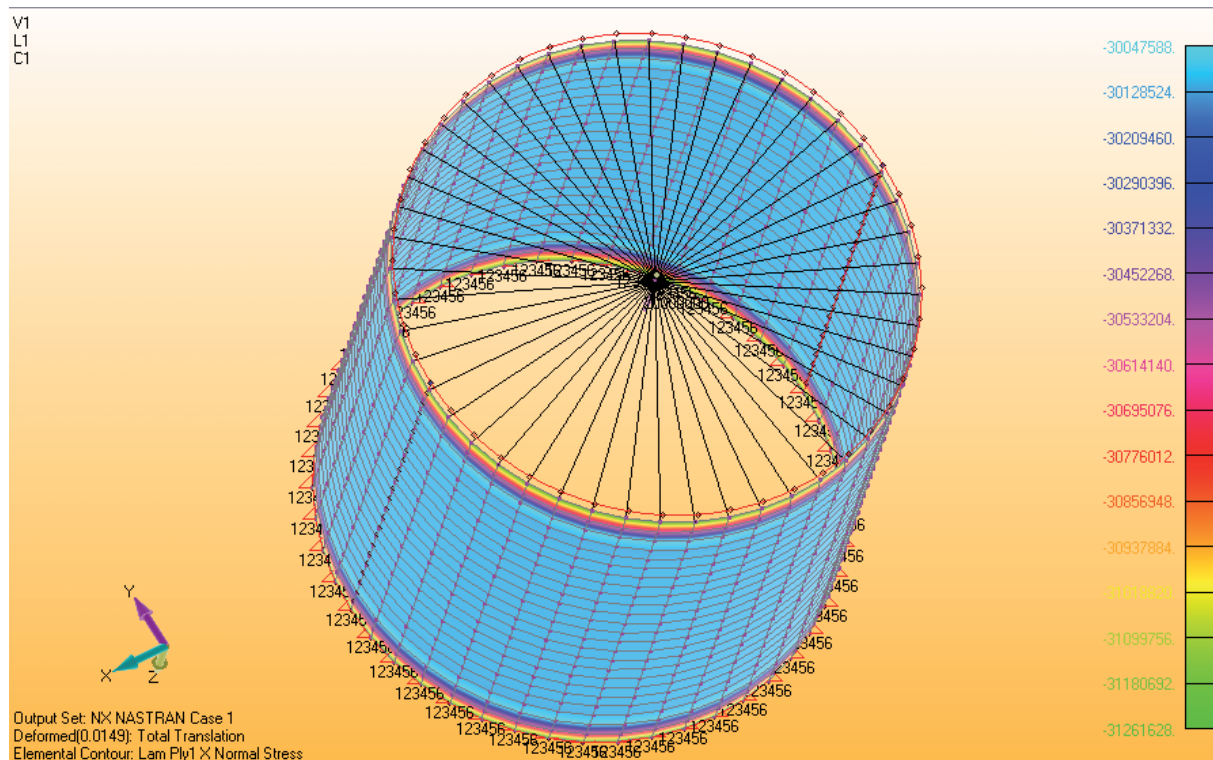


Рисунок 3. Напряжения, возникающие в обшивке

ляется углом . Каждый слой характеризуется индивидуальным материалом и постоянной толщиной.

Для исследования напряженно-деформированного состояния отсека вводились механические характеристики композиционного материала, из которого компоновалась слоистая панель. Для этого задавались толщина каждого слоя и угол его армирования (рисунок 2).

Далее проводился расчет на прочность и устойчивость обшивки, как цилиндрической оболочки, и исследовалась деформация обшивки (рисунки 3, 4). Расчет проводился для различных схем укладки слоев обшивки (таблица 1).

Как видно из таблицы 1, оптимальными схемами укладки слоев являются схемы, имеющие внутренние слои (наиболее близкие к продольной оси отсека), армированные под углами , и внешний слой, армированный под углом . В этом случае максимальные напряжения, возникающие в обшивке, будут минимальны, а коэффициент запаса общей устойчивости обшивки имеет максимальное значение. Это означает, что обшивка, имеющее данное армирование, будет наиболее прочной и устойчивой, а масса у нее

будет такой же, как и у всех обшивок с рассмотренными схемами укладки слоев.

Отсутствие различия в устойчивости и прочности обшивок в случае взаимной перемены мест слоев, армированных под углами , под-тверждает возможность замены этих двух слоев одним ортотропным слоем.

Исследовались изменения прочности и устойчивости обшивки при увеличении числа слоев композиционного материала. Обшивка компоновалась в виде четырехслойных пакетов, порядок расположения слоев в которых был определен выше (рисунок 5). Для обеспечения условия совместности деформаций слоев толщина слоев в каждом пакете выбиралась обратно пропорционально числу пакетов, толщина обшивки оставалась неизменной.

В результате моделирования напряженно-деформированного состояния обшивок, состоящих из различного количества пакетов слоев, было установлено следующее:

- эпюры напряжений, возникающих в обшивках, одинаковы;
- максимальные напряжения, возникающие в обшивках, одинаковы (таблица 2);

Таблица 1. Результаты расчетов на прочность и устойчивость

Схема укладки слоев обшивки	Максимальное напряжение, МПа	Коэффициент запаса устойчивости
0, 45, -45, 90	36,59	1,06
0, -45, 45, 90	36,59	1,06
0, 90, 45, -45	36,60	1,08
0, 90, -45, 45	36,60	1,08
90, 45, -45, 0	32,28	1,14
90, -45, 45, 0	32,28	1,14
90, 0, 45, -45	32,68	1,17
90, 0, -45, 45	32,68	1,17
45, -45, 0, 90	30,05	1,26
-45, 45, 0, 90	30,05	1,26
45, -45, 90, 0	30,10	1,19
-45, 45, 90, 0	30,10	1,19

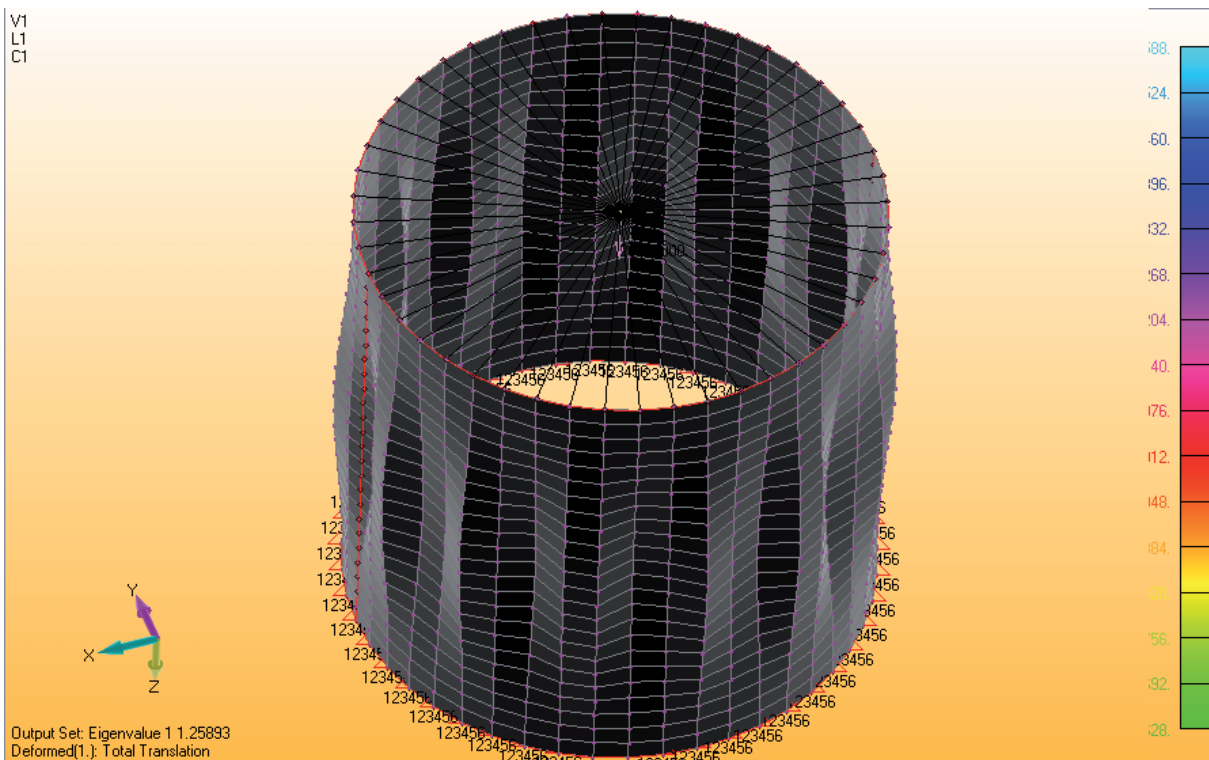


Рисунок 4. Деформация обшивки

Layup Editor

ID: 20 Title: _____

Global Ply ID (optional) AutoCreate Material: 3..o Thickness: 0,00011 Angle: 45,

--- Top of Layup --- Total Thickness = 0,00648

Ply ID	Global Ply	Material	Thickness	Angle
24		3..o	0.00049	90.
23		3..o	0.00037	0.
22		3..o	0.00011	135.
21		3..o	0.00011	45.
20		3..o	0.00049	90.
19		3..o	0.00037	0.
18		3..o	0.00011	135.
17		3..o	0.00011	45.
16		3..o	0.00049	90.
15		3..o	0.00037	0.
14		3..o	0.00011	135.
13		3..o	0.00011	45.
12		3..o	0.00049	90.
11		3..o	0.00037	0.
10		3..o	0.00011	135.
9		3..o	0.00011	45.
8		3..o	0.00049	90.
7		3..o	0.00037	0.
6		3..o	0.00011	135.
5		3..o	0.00011	45.
4		3..o	0.00049	90.
3		3..o	0.00037	0.
2		3..o	0.00011	135.
1		3..o	0.00011	45.

--- Bottom of Layup ---

Buttons: New Ply, Update Global Ply, Update Material, Update Thickness, Update Angle, Duplicate, Symmetric, Delete, Reverse, Move Up, Move Down, Rotate..., Compute..., Load..., Save..., Copy, OK, Cancel

Рисунок 5. Компоновка обшивки из шести пакетов слоев

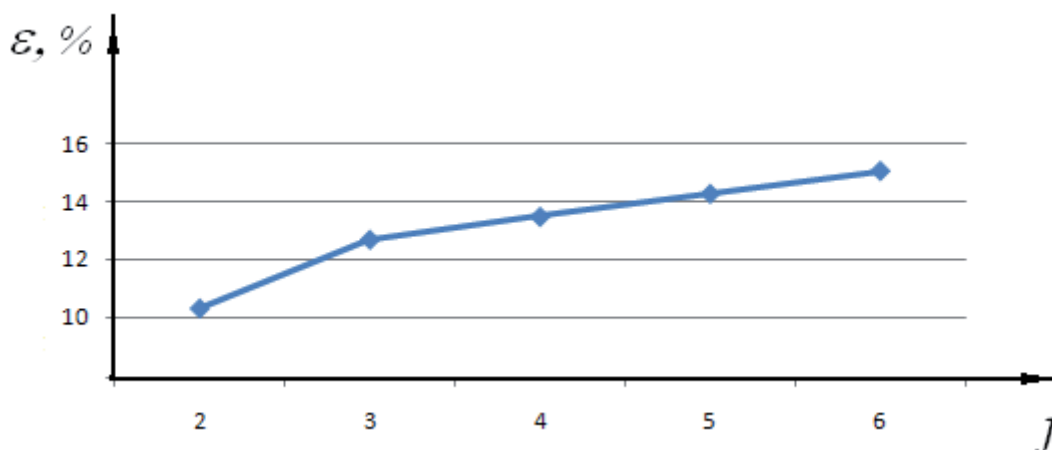


Рисунок 6. Относительное изменение коэффициента запаса устойчивости

Таблица 2. Влияние изменения количества пакетов слоев на прочность и устойчивость обшивки

Количество пакетов слоев j	Толщина слоя в пакете, мм			Максимальное напряжение, МПа	Коэффициент запаса устойчивости
	$\varphi=\pm 45^\circ$	$\varphi=0^\circ$	$\varphi=45^\circ$		
1	0,65	2,23	2,91	30,05	1,26
2	0,33	1,11	1,45	30,05	1,39
3	0,22	0,74	0,97	30,05	1,42
4	0,16	0,56	0,73	30,05	1,43
5	0,13	0,45	0,58	30,05	1,44
6	0,11	0,37	0,49	30,05	1,45

– коэффициент запаса общей устойчивости возрастает с увеличением числа пакетов слоев (таблица 2).

Исследовалось влияние изменения количества пакетов слоев на изменение коэффициента запаса общей устойчивости обшивки по отношению к обшивке, состоящей из одного пакета слоев (рисунок 6).

Из рисунка 6 видно, что существенное увеличение коэффициента запаса устойчивости происходит при использовании двух пакетов слоев. Последующее увеличение числа пакетов слоев приводит к менее значительному увеличению данного коэффициента. Поэтому применение трех и более пакетов слоев необходимо производить в тех случаях, когда к устой-

чивости обшивки предъявляются повышенные требования, так как увеличение числа пакетов слоев сопровождается увеличением стоимости производства обшивок.

Таким образом, в результате моделирования напряженно-деформированного состояния обшивки в Nastran было установлено, что четырехслойные обшивки, имеющие схему расположения слоев (45, -45, 0, 90) являются наиболее прочными и устойчивыми. Увеличение количества четырехслойных пакетов в обшивке приводит к увеличению коэффициента запаса общей устойчивости. Определение оптимального количества четырехслойных пакетов необходимо проводить с помощью технико-экономических показателей.

12.07.2015

Список литературы:

1. Абросимов, Н.А. Оптимальное проектирование многослойных композитных оболочек вращения нерегулярной структуры при импульсных и ударных воздействиях / Н.А. Абросимов, В.Г. Баженов, В.П. Столов // Механика композитных материалов. – 1990. – № 6. – С. 1087–1093
2. Бакулин, В.Н. Методы оптимального проектирования и расчета композиционных конструкций. В 2 т. Т.1. Оптимальное проектирование конструкций из композиционных и традиционных материалов / В.Н. Бакулин, Е.Л. Гусев, В.Г. Марков. – М.: Физматлит, 2008. – 256 с.

3. Белевичус, Р. Оптимизация формы слоистых ортотропных пластинчатых конструкций / Р. Белевичус // Механика композитных материалов. – 1993. – № 4. – С. 537-546
4. Бунаков, В.А. Оптимальное проектирование конструкций из композиционных материалов / В.А. Бунаков, В.Б. Маркин. – Барнаул: Алтайский гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, 1994. – 57 с.
5. Васильев, В.В. Основы проектирования и изготовления конструкций летательных аппаратов из композиционных материалов / В.В. Васильев, А.А. Добряков, А.А. Дудченко и др. – М.: МАИ, 1985. – 218 с.
6. Дудченко, А.А. Оптимальное проектирование элементов авиационных конструкций из композитных материалов / А.А. Дудченко. – Москва: МАИ, 2002. – 84 с.
7. Зиновьев, П.А. Оптимальное проектирование композитных материалов / П.А. Зиновьев, А.А. Смердов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 103 с.
8. Колпаков, А.Г. Проектирование волокнистых композитов с заданными деформативно-прочностными характеристиками / А.Г. Колпаков // Прикладная механика и техн. физика. – 1995. – Т.36, №5. – С. 113-123
9. Лизин, В.Т. Проектирование тонкостенных конструкций. – 3-е изд./ В.Т. Лизин, В.А. Пяткин. – М.: Машиностроение, 1994. – 384 с.
10. Морозов, Н.А. Влияние геометрических характеристик стрингеров на устойчивость подкрепленных цилиндрических обшивок летательных аппаратов/ Н.А. Морозов, С.Д. Изенин // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). – Оренбург: ОГУ, 2015. – С.77-81
11. Морозов, Н.А. Исследование влияния угла армирования композитных материалов на устойчивость элементов обшивок летательных аппаратов/ Н.А. Морозов // Школа – семинар молодых ученых и специалистов в области компьютерной интеграции производства: материалы. Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2015 – С.91-95
12. Морозов, Н.А. Оптимизация параметров обшивок сухих отсеков ракет, выполненных из композиционных материалов/ Н.А. Морозов, Власов Ю.Л., Гаврилов А.А. // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы двенадцатой международной научно-практической конференции – Оренбург: ОГУ, 2015. – С. 282-286
13. Муц А. Оптимизация многослойных композитных конструкций со случайно распределенными механическими свойствами / А. Муц // Механика композитных материалов. 2005. – Т. 41, № 6. — С. 753-760
14. Немировский, Ю.В. Рациональное проектирование армированных конструкций / Ю.В. Немировский, А.П. Янковский – Новосибирск: Наука, 2002. – 488 с.
15. Оболенский, Е.П. Прочность летательного аппарата и их агрегатов: учебник для студентов авиационных специальностей вузов / Е.П. Оболенский, Б.И. Сахаров, В.А. Сибиряков; Под ред. И.Ф. Образцова. – Москва: Машиностроение, 1995. – 504 с.
16. Почтман, Ю.М. Оптимизация цилиндрических композитных оболочек с учетом критической моды несовершенств / Ю.М. Почтман, С.А. Шульга // Механика композитных материалов. 1998. – Т. 34, № 5. – С. 613-620
17. Смердов, А.А. Основы оптимального проектирования композитных конструкций / А.А. Смердов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 88 с.
18. Тетере, Г.А. Многоцелевое оптимальное проектирование композитных конструкций / Г.А. Тетере, А.Ф. Крегерс // Механика композитных материалов. – 1996. – Т. 32, № 3. – С. 363-376

Сведения об авторах

Морозов Николай Анатольевич, доцент кафедры машиноведения
Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 20404, тел (3532) 372513
e-mail: moroz.off.nick@yandex.ru

Власов Юрий Леонидович, доцент кафедры машиноведения
Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 20404, тел (3532) 372513
e-mail: ulvlasov@mail.ru

Гаврилов Александр Александрович, старший преподаватель кафедры машиноведения Оренбургского
государственного университета
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 20404, тел (3532) 372513
e-mail: pialex@bk.ru