АНАЛИЗ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ КОРОБЛЕНИЙ ПАНЕЛИ СТВОРКИ ГРУЗОВОГО ОТСЕКА САМОЛЕТА

Буш Александр Валерьевич
начальник конструкторского отдела
АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина»,
РФ, г. Обнинск

Маркин Олег Владимирович
вед. инженер-конструктор
АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина»,
РФ, г. Обнинск
E-mail: movl2007@mail.ru

Кравченко Евгений Анатольевич
начальник бригады
АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина»,
РФ, г. Обнинск

Свиридов Анатолий Григорьевич
научный руководитель, директор НПК "Композит"
АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина»
РФ, г. Обнинск

ANALYSIS OF WAYS TO REDUCE WARPING OF THE WING PANEL OF THE CARGO COMPARTMENT OF THE AIRCRAFT

Alexander Bush
head of design department
Joint Stock Company "Obninsk Research and Production Enterprise "Technology"
named after A.G. Romashina",
Russia, Obninsk

Oleg Markin
lead design engineer
Joint Stock Company "Obninsk Research and Production Enterprise "Technology"
named after A.G. Romashina",
Russia, Obninsk

Evgeny Kravchenko
brigade chief
Joint Stock Company "Obninsk Research and Production Enterprise "Technology"
named after A.G. Romashina",
Russia, Obninsk

Anatoly Sviridov
Scientific adviser, director of NPK "Composite"
Joint Stock Company "Obninsk Research and Production Enterprise "Technology"
named after A.G. Romashina",
Russia, Obninsk

АННОТАЦИЯ

Конструкция панели створки (ПС) грузового отсека самолета представляет собой конструкцию сложной формы, которая включает в себя: трехслойную часть, имеющую сотовый заполнитель, боковые окантовки (имеющие несколько зон усилений), а так же верхнюю и нижнюю обшивки с зонами усилений разных геометрических форм. В процессе изготовления рассматриваемая конструкция помещается в автоклав, где происходит процесс ее формования при температуре $T=180^0C$. По завершении процесса формования, ПС извлекается из автоклава

Библиографическое описание: АНАЛИЗ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ КОРОБЛЕНИЙ ПАНЕЛИ СТВОРКИ ГРУЗОВОГО ОТСЕКА САМОЛЕТА // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Буш А.В. [и др.]. 2022. 11(104). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14615

и происходит охлаждение сформованной конструкции на ΔT~150^{0}C до комнатной температуры. Конструктивная сложность створки – наличие сотового заполнителя, разные геометрические формы зон усилений с собственной схемой армирования (т.е. отсутствует симметричность схем армирования обшивки верхней и нижней), наличие окантовки с собственными зонами усилений и т.д., все эти факторы могут провоцировать избыточные температурные деформации (коробления) ПС после ее формования и остывания до комнатной температуры. Перед авторами данной работы стояла задача определить деформированное состояние ПС после ее охлаждения и найти решения для значимого снижения значений короблений, при которых упруго-прочностные характеристики конструкции створки не претерпят практически значимых изменений.

ABSTRACT

The design of the wing panel (WP) of the cargo compartment of the aircraft is a complex-shaped structure, which includes: a three-layer part having a honeycomb filler, side edges (having several reinforcement zones), as well as upper and lower skin with reinforcement zones of different geometric shapes. During the manufacturing process, the structure in question is placed in an autoclave, where its molding process takes place at a temperature of T = 180^{0}C. Upon completion of the molding process, the PS is removed from the autoclave and the formed structure is cooled at DT ~ 150^{0}C to room temperature. The structural complexity of the sash is the presence of a honeycomb filler, different geometric shapes of reinforcement zones with their own reinforcement scheme (there is no symmetry of the reinforcement schemes of the upper and lower skin), the presence of edging with their own reinforcement zones, etc., all these factors can provoke excessive temperature deformations (warping) of the WP after its molding and cooling to room temperature.

The authors of this work were faced with the task of determining the deformed state of the WP after its cooling and finding solutions for a significant reduction in the values of warping, in which the elastic-strength characteristics of the sash structure will not undergo practically significant changes.

Ключевые слова: грузовой отсек, створка, композиционный материал, самолет, температурные нагрузки, Nastran.

Keywords: cargo compartment, sash, composite material, aircraft, temperature loads, Nastran.

Большая сложность рассматриваемой задачи, с точки зрения расчета короблений конструкции, заключается в наличии ряда зон внутренней и наружной обшивок ПС имеющих различную схему укладок слоев углепластика.

На рис. 1 представлен внешний вид конечно-элементной (КЭ) модели ПС с указанием ее габаритных размеров. КЭ модель имеет ряд упрощений - отсутствуют скосы сотового слоя по внешнему контуру, а так же ряд зон усилений обшивки нижней имеют упрощенную форму.

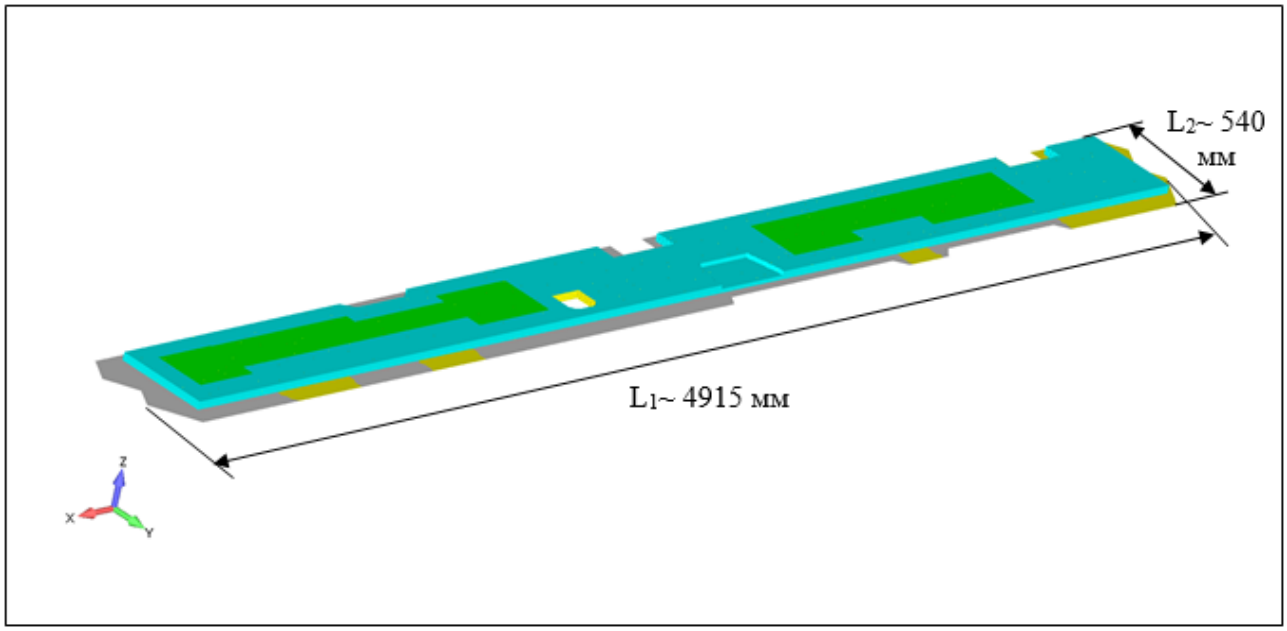

Рисунок 1. Внешний вид ПС

Свойства материалов конструктивных элементов ПС представлены в таб. 1-3.

Таблица 1.

Расчетные характеристики материала KMKU

№	Характеристика	Значение
1	Модуль упругости вдоль оси X E_x, ГПа	141
2	Модуль упругости вдоль оси Y E_y, ГПа	10
3	Модуль сдвига в плоскости XY G_{xy}, ГПа	4
4	Коэффициент Пуассона в направлении XY ν_{xy}	0,3
5	Температурный коэффициент линейного расширения вдоль оси X α_x, 10^{-6} 1/°C	0,5
6	Температурный коэффициент линейного расширения вдоль оси Y α_y, 10^{-6} 1/°C	25
Примечание – Ось X совпадает с продольной осью ПС.		

Таблица 2.

Расчетные характеристики материала КМКС

№	Характеристика	Значение
1	Модуль упругости вдоль оси X E_x, ГПа	30
2	Модуль упругости вдоль оси Y E_y, ГПа	20
3	Модуль сдвига в плоскости XY G_{xy}, ГПа	7
4	Коэффициент Пуассона в направлении XY ν_{xy}	0,3
6	Температурный коэффициент линейного расширения вдоль оси X α_x, 10^{-6} 1/°C	10
7	Температурный коэффициент линейного расширения вдоль оси Y α_y, 10^{-6} 1/°C	15
Примечание – Ось X совпадает с продольной осью КС.		

Таблица 3.

Расчетные характеристики материала сотового заполнителя

№	Характеристика	Значение
1	Модуль упругости E, ГПа	72
2	Коэффициент Пуассона ν	0,3
3	Температурный коэффициент линейного расширения α, 10^{-6} 1/°C	24

Как видно из таб. 1, одной из особенностей углепластика является большая разница между значениями КЛТР вдоль и поперек слоя (0,5 и 25 соответственно). *Такая особенность углепластика будет ключевой в решении задачи избыточных короблений ПС.*

Для решения задачи создавалась структурная КЭ - модель ПС. В структурной модели сотовый заполнитель моделировался как шестигранные ячейки со стенками одинарной и двойной толщины. Обшивки, усиления и углубления ПС моделировались при помощи элемента Laminate [1,2] с созданием соответствующих схем армирования.

Конечно-элементная модель панели и ее конструктивных элементов представлена на рисунках 2-4. Для удобства чтения схем армирования, разные конструктивные зоны ПС выделены разными цветами.

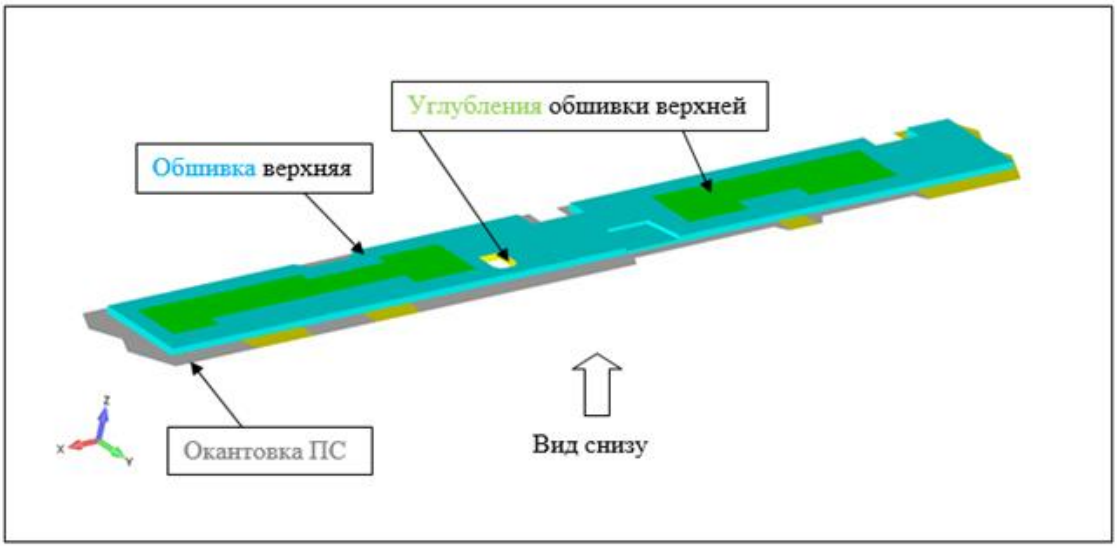

Рисунок 2. КЭ-модель ПС

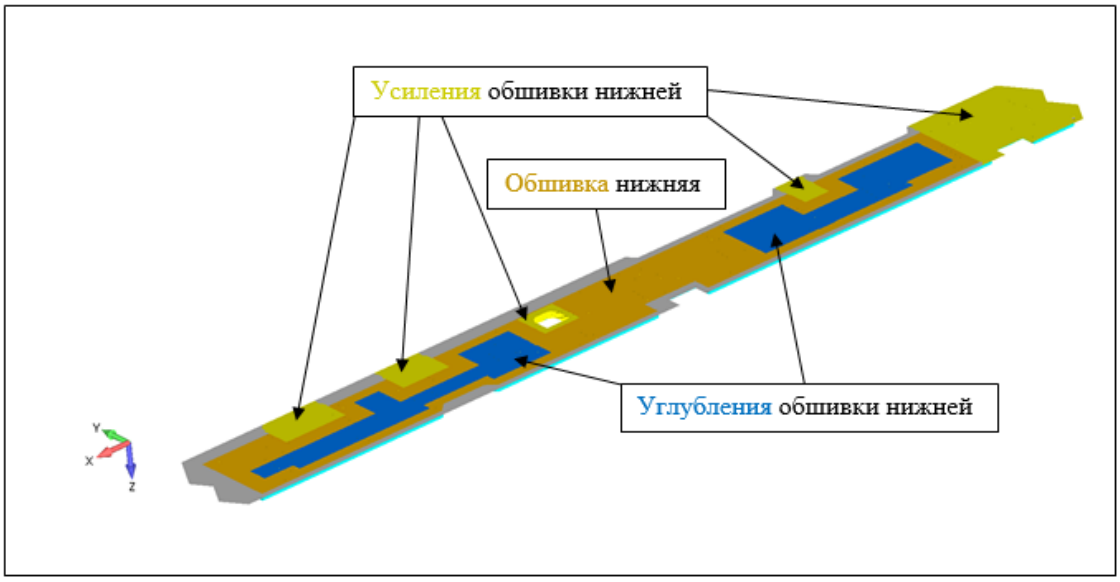

Рисунок 3. КЭ-модель ПС. Вид снизу

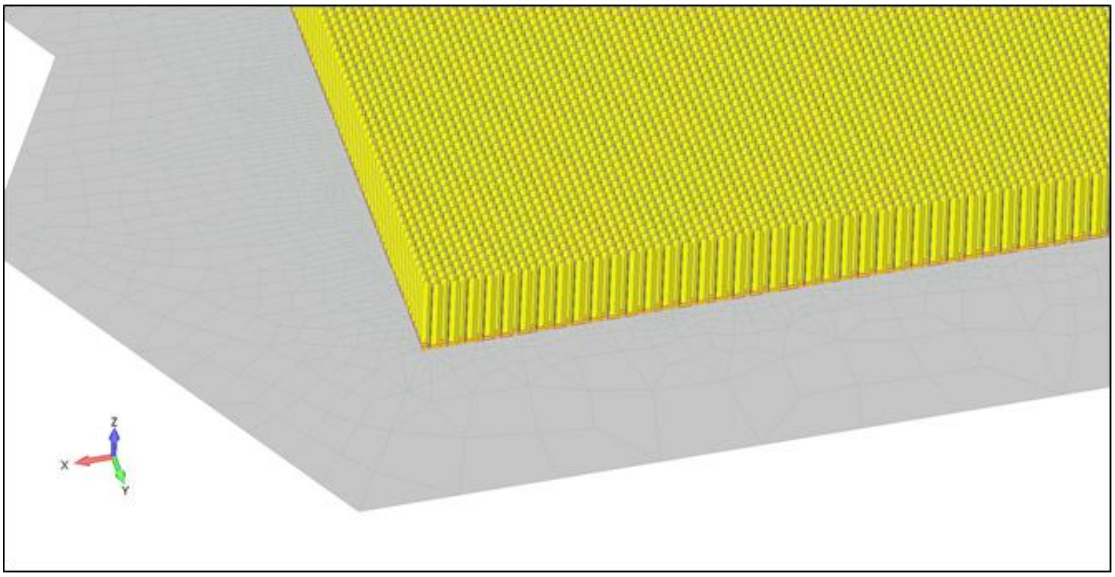

Рисунок 4. Фрагмент КЭ-модели сотового слоя. Направление растяжки сот вдоль оси X

Схемы армирования конструктивных зон ПС представлены на рис. 5-8. Направление слоя с углом укладки 0^0 совпадает с продольной осью ПС. Наращивание слоев в направлении оси Z [1, 2].

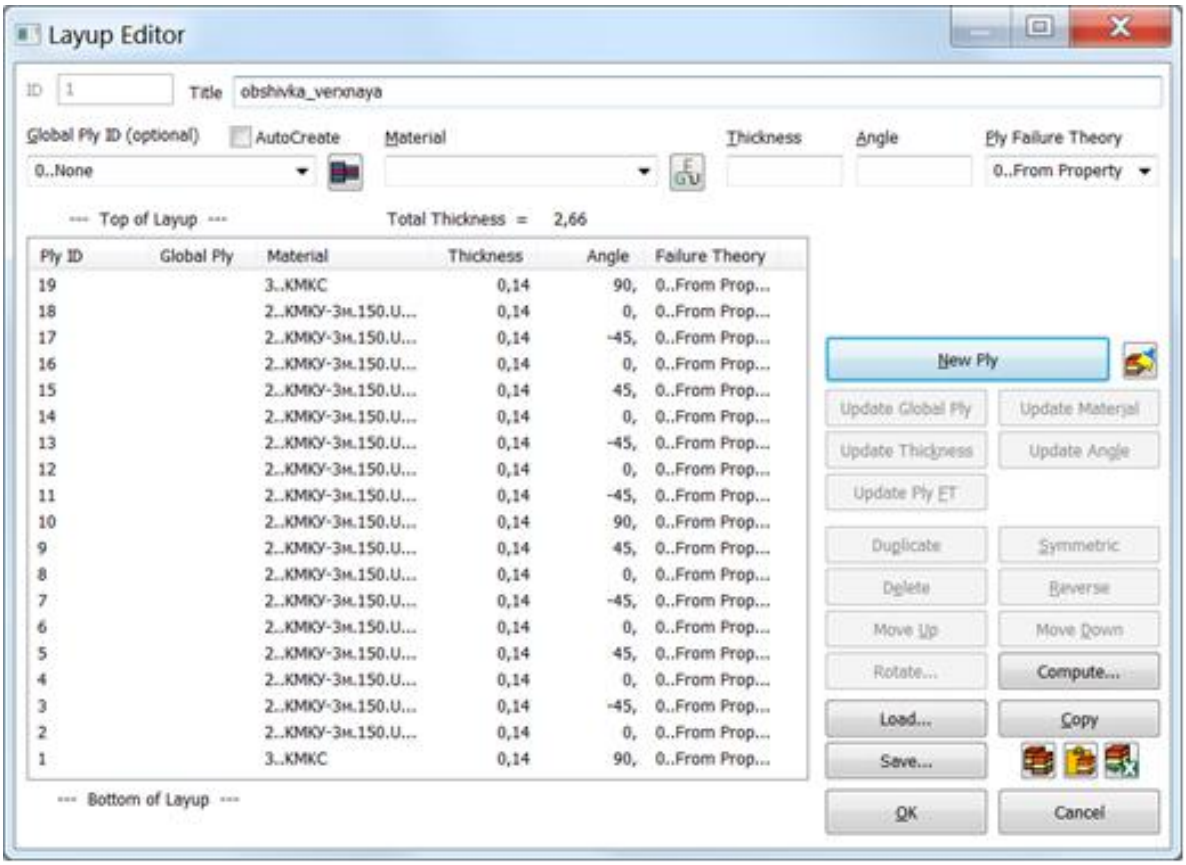

Рисунок 5. Схема армирования обшивки верхней (на рис. 2 имеет цвет)

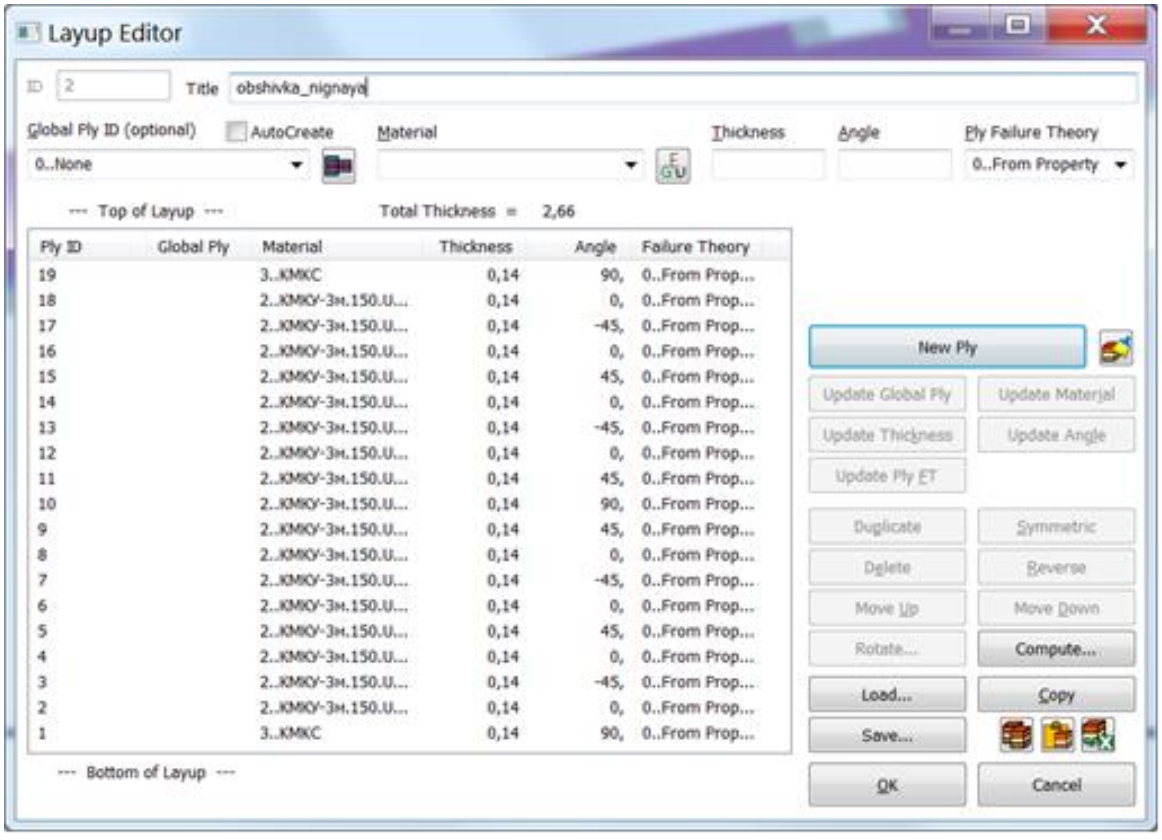

Рисунок 6. Схема армирования обшивки нижней (на рис. 3 имеет цвет)

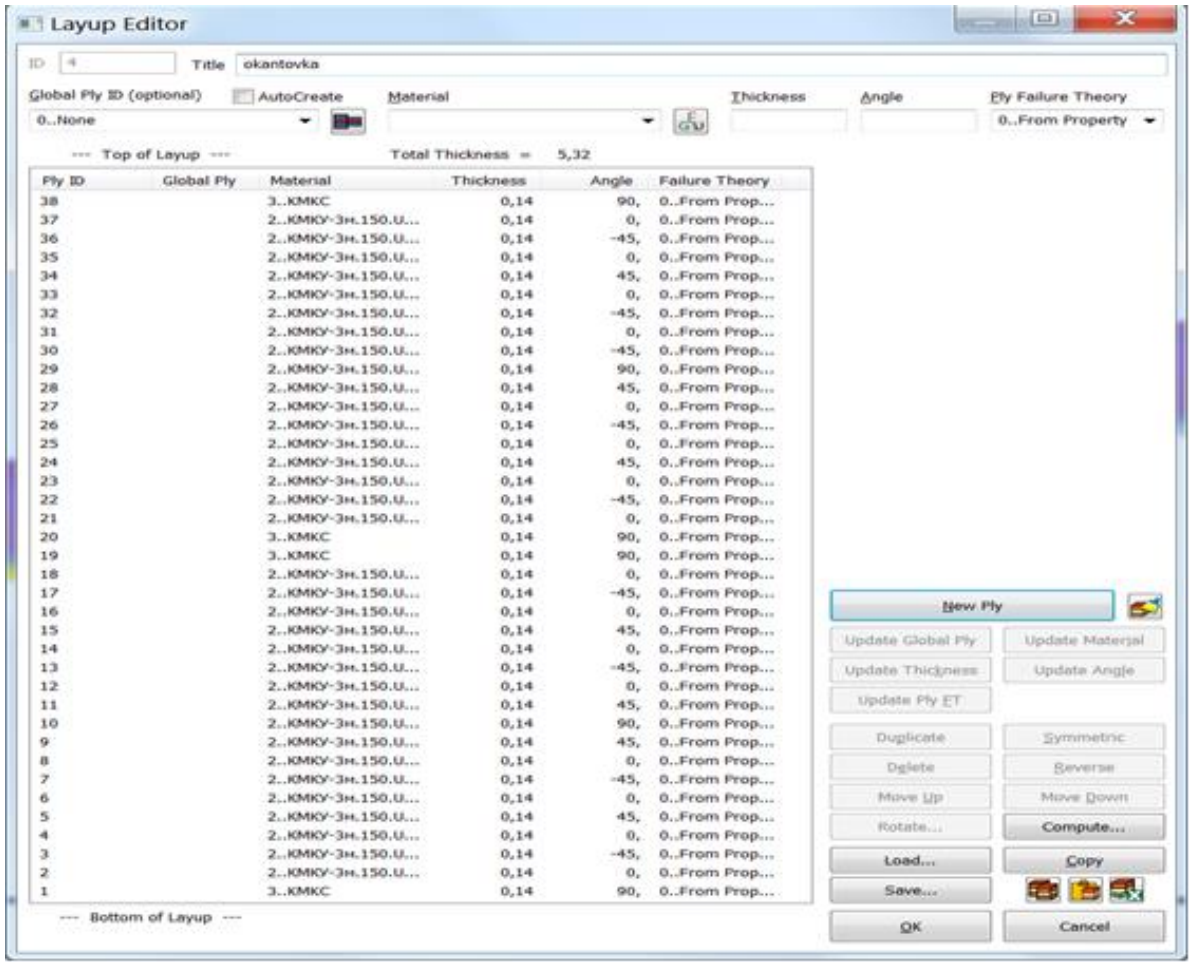

Рисунок 7. Схема армирования окантовки
(является суперпозицией обшивки нижней и верхней и на рис. 2 имеет цвет)

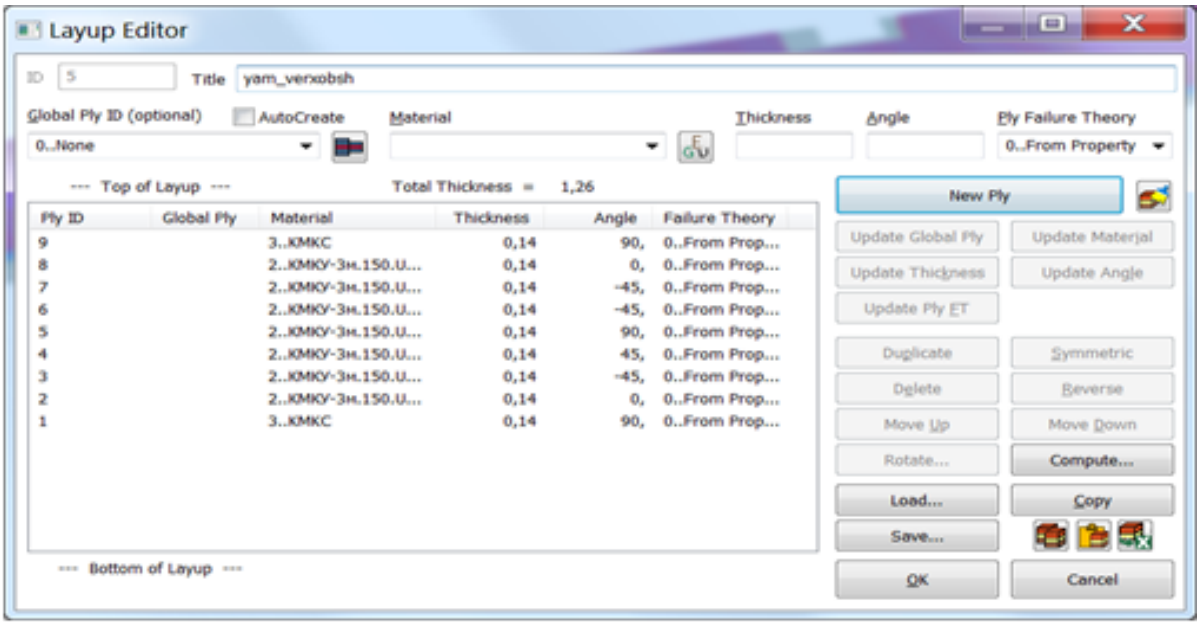

Рисунок 8. Схема армирования углублений обшивки верхней (на рис.2 имеет цвет)

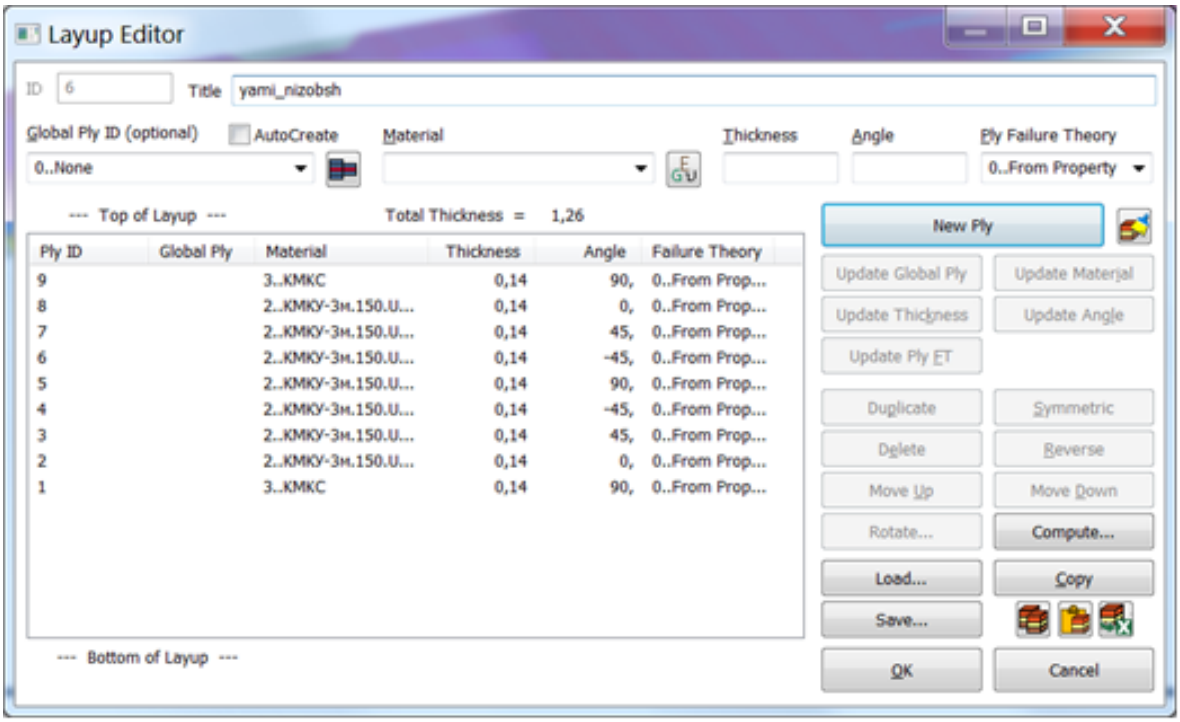

Рисунок 9. Схема армирования углублений обшивки нижней (на рис.3 имеет цвет)

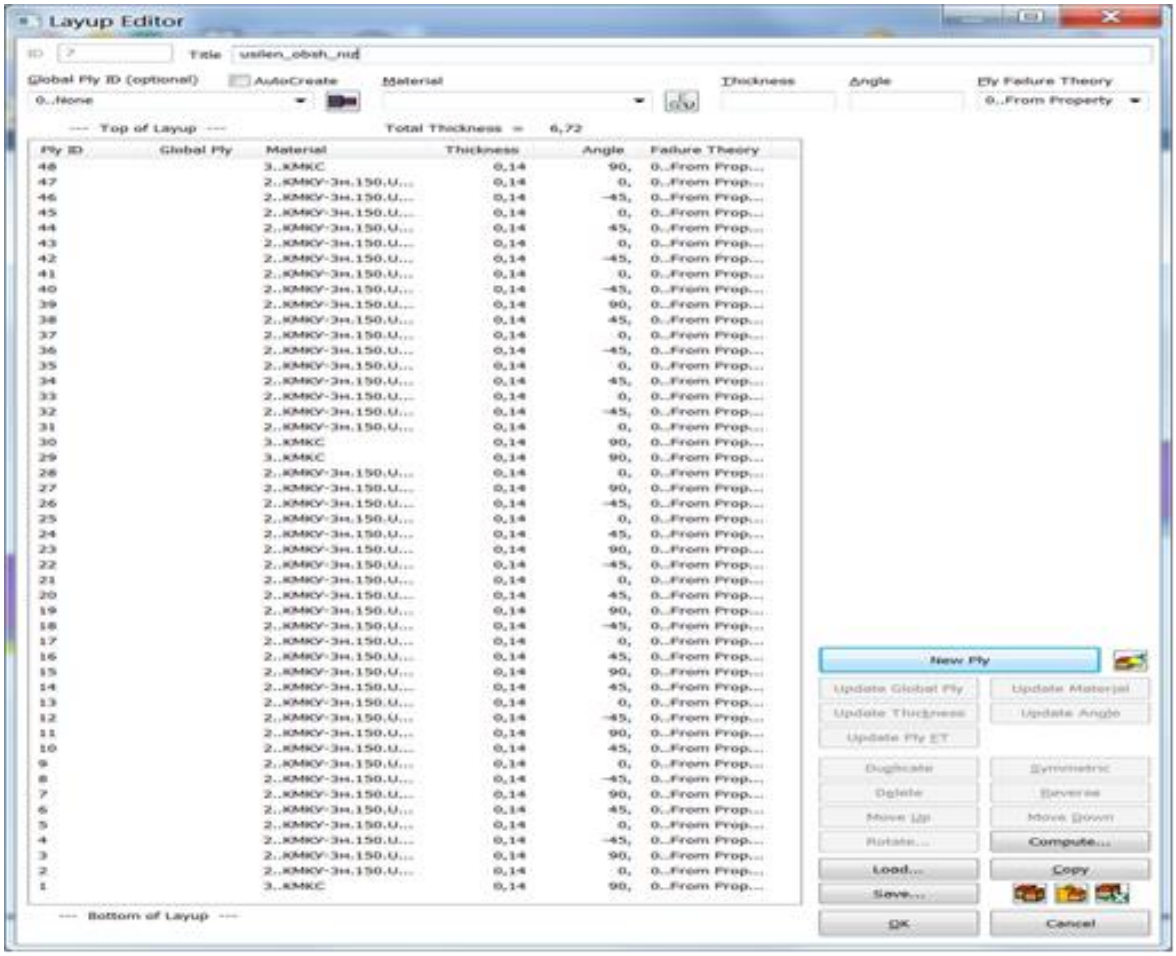

Рисунок 9. Схема армирования усилений обшивки нижней (на рис. 3 имеет цвет)

Для термического анализа нагрузка задается в виде равномерного охлаждения КЭ-модели ПС на $\Delta T = -150^0C$. Граничные условия для нужд термического анализа – заделка в центральном узле. На рис. 10 представлен способ закрепления и нагружения КЭ-модели ПС.

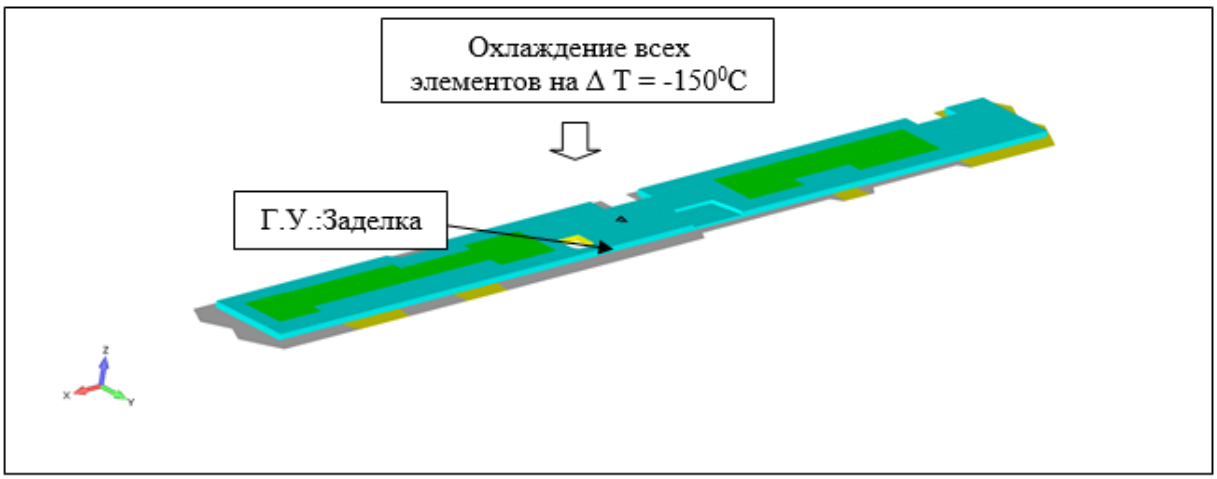

Рисунок 10. Граничные условия и способ нагружения FE- модели

Проведен термический анализ конструкции ПС. Деформированное состояние представлено на рис. 11.

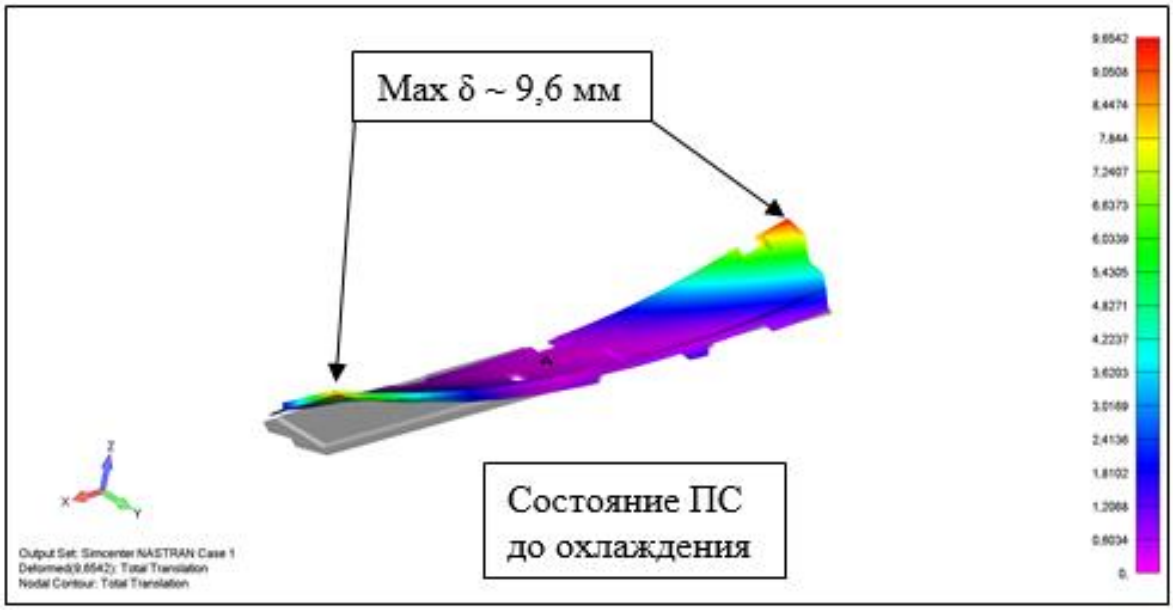

Рисунок 11. Деформированное состояние и распределение суммарных перемещений (мм) по элементам ПС

Как видно из рис. 11, форма короблений панели створки при ее охлаждении на $\Delta T = -150^0C$ представляет собой комбинированную форму, состоящую из изгибных и крутильных деформаций.

С целью исключения крутильных форм деформаций при короблении ПС, предлагается восстановить симметричность схемы армирования обшивки верхней путем замены угла армирования слоя №11 (рис.5) с -45^0 на $+45^0$. Такая замена приведет к изменению схем армирования других конструктивных элементов ПС следующим образом:

- в схеме армирования углублений обшивки верхней (рис. 8), слой № 6 будет иметь угол установки $+45^0$.
- в схеме армирования окантовки (рис. 7), слой №30 будет иметь угол установки $+45^0$.
- в схеме армирования усилений обшивки нижней (рис.9), слой №40 будет иметь угол установки $+45^0$.

Деформированное состояние ПС с вышеуказанными изменениями схемы армирования, представлено на рис. 12.

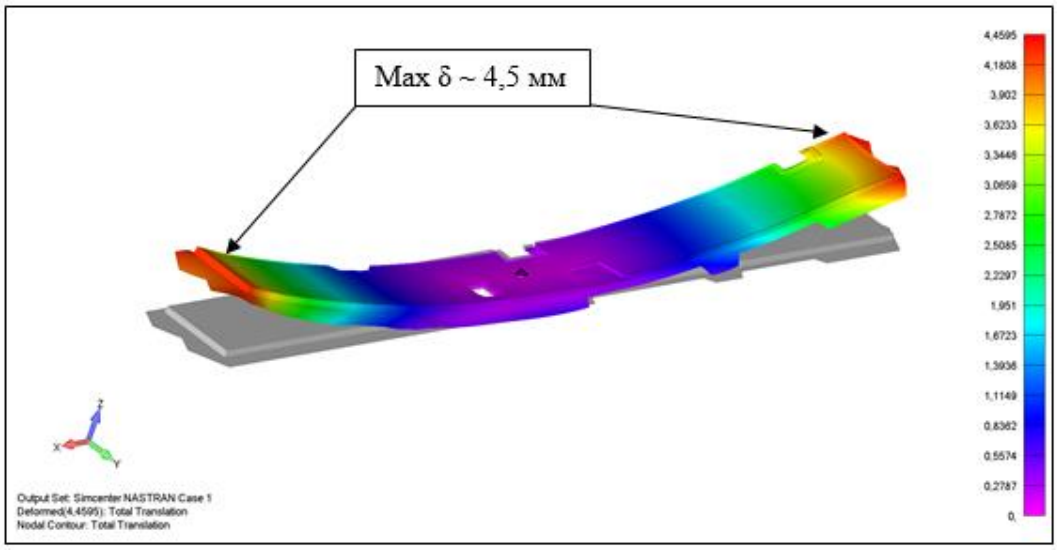

Рисунок 12. Деформированное состояние и распределение суммарных перемещений (мм) по элементам ПС

Как видно из рис. 12, форма короблений панели створки (с измененной схемой армирования) представляет собой простую изгибную форму. При этом деформации в форме кручения практич. исчезли, что приводит к снижению значений деформаций практически в два раза (с 9,6 мм до 4,5 мм).

С целью снижения значений деформаций изгибных форм ПС (указанных на рис. 12) предлагается изменить угол установки срединного слоя обшивки верхней (слой №10 на рис. 5) и обшивки нижней (слой №10 на рис.6) с 90^0 на 0^0. Основанием для такой замены является тот факт, что материал углепластика имеет очень малое значение КЛТР вдоль слоя (α_1=0,5X10^{-6}1/°C), в отличие от поперечного значения КЛТР (α_2=25X10^{-6}1/°C). Соответственно, изменив угол укладки срединных слоев с 90^0 на 0^0, произойдет значимое снижение значений КЛТР обшивок в продольном направлении. *А это, в свою очередь, снизит потенциал для возникновения изгибных форм короблений.* Такая замена приведет к изменению схем армирования других конструктивных элементов ПС следующим образом:

- в схеме армирования углублений обшивки верхней (рис. 8), слой №5 будет иметь угол установки 0^0.
- в схеме армирования окантовки (рис. 7), слой № 10 и слой № 29 будут иметь угол установки 0^0.
- в схеме армирования усилений обшивки нижней (рис. 9), слой №40 будет иметь угол установки $+45^0$.

Деформированное состояние ПС с вышеуказанными изменениями схемы армирования, представлено на рис. 13.

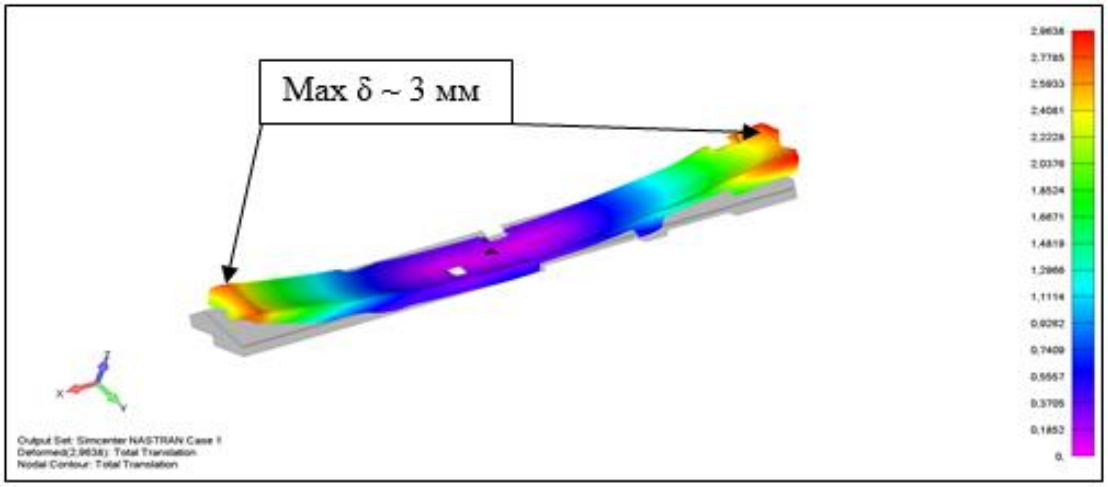

Рисунок 13. Деформированное состояние и распределение суммарных перемещений (мм) по элементам ПС

Как видно из рис. 13, значения изгибных деформаций снизилось в 1,5 раза (с 4,5 до 3 мм).

Выводы

Согласно проведенному анализу, охлаждение конструкции ПС на 150^0C приведет к термической деформации, форма которой будет комбинированная и состоящая из выраженного кручения и, в меньшей степени, изгиба. При этом максимальные деформации составят δ ~9,6 мм.

При изменении угла армирования слоя №11 с -45^0 на $+45^0$ восстанавливается симметричность структуры армирования внешней обшивки, что приводит к исчезновению крутильных деформаций в картине температурных деформаций ПС. При этом изгибные формы температурных деформаций остаются и по своему значению составят δ ~4,5 мм, что в 2 раза меньше значений исходного (комбинированного) деформированного состояния.

В свою очередь, для снижения значений изгибных деформаций ПС высокоэффективным решением является изменение угла армирования срединного слоя обшивок с 90^0 на 0^0, которое приводит к снижению значений изгибных деформаций с 4,5 мм до 3 мм (рис. 12-13).

Список литературы:

1. Рычков С.П. MSC.visualNASTRAN для Windows / Рычков С.П. – М.: НТ Пресс, 2004. – 552 с.
2. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. – М.: ДМК, 2001. – 446 с.