



Госкорпорация «Роскосмос»  
Акционерное общество  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР имени М.В. ХРУНИЧЕВА»  
(АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»)

Новозаводская ул., д. 18, г. Москва, 121309, тел.: 8 (495) 797-33-33,  
Тел.: 8 (495) 797 33 33 доб. 599-34, Тел/факс: +7 (499) 749 92 31, факс: 8 (495) 797-33-33 доб. 506-91,  
e-mail: [agd@khrunichev.ru](mailto:agd@khrunichev.ru), <http://www.khrunichev.ru>, [salut@khrunichev.ru](mailto:salut@khrunichev.ru)  
ОГРН 5177746220361, ИНН/КПП 7730239877/773001001

НКБС-023076-ИСХ  
от 22.12.2025

Ученому секретарю диссертационного совета 24.2.327.09

ФГБОУ ВО «МАИ» (НИУ), к.т.н.

Стрельцу Д.Ю.

Волоколамское ш, д.4,

г. Москва, 125993

Уважаемый Дмитрий Юрьевич!

Направляю Вам отзыв на автореферат кандидатской диссертации Котовича Ильи Всеволодовича на тему «Метод расчета напряженно-деформированного состояния трехслойных панелей с нерегулярной сотовой структурой для обеспечения прочности несущих поверхностей объектов авиационной техники».

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании НТС КБ «Салют» протокол № 2542 от 18.12.2025 г.

Приложение: Отзыв на автореферат Котовича И.В. на 6 листах, 2 экз.

Ученый секретарь НТС  
КБ «Салют», к.т.н.

А.А. Белкин



Госкорпорация «Роскосмос»  
 Акционерное общество  
**«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ  
 НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР имени М.В. ХРУНИЧЕВА»**  
 (АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»)

Новозаводская ул., д. 18, г. Москва, 121309, тел.: 8 (499) 749 99 34, факс: 8 (499) 749 51 24  
 Тел.: 8 (499) 749 83 43, факс: 8 (499) 142 59 00, e-mail: [agd@khrunichev.ru](mailto:agd@khrunichev.ru),  
<http://www.khrunichev.ru>  
 ОГРН 5177746220361, ИНН/КПП 7730239877/773001001

№ \_\_\_\_\_  
 На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_



**УТВЕРЖДАЮ**  
 Генеральный директор  
 АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»,  
 К.Т.Н.

Д.Г. Денискин

\_\_\_\_\_ 2025г

121309, г. Москва, ул. Новозаводская, д.18  
[salut@khrunichev.ru](mailto:salut@khrunichev.ru), тел.8 (499) 749 99 56

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы

**Котовича Ильи Владимировича**

**«Метод расчета напряженно-деформированного состояния трехслойных панелей с нерегулярной сотовой структурой для обеспечения прочности несущих поверхностей объектов авиационной техники»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ  
 И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ  
 ДОКУМЕНТОВ МАИ  
 «25» 12 2025г.

**Актуальность** темы представляемой диссертационной работы связана с необходимостью снижения массы трехслойных панелей в конструкциях летательных аппаратов при сохранении или повышении их прочностных и жесткостных характеристик. Аддитивные технологии открывают новые возможности для разработки и производства трехслойных конструкций с нерегулярной сотовой структурой.

**Объектом исследования** являются трехслойные панели с сотовым и другими легкими заполнителями пространства между несущими обшивками.

**Предметом исследования** являются математические модели трехслойных оболочек с нерегулярной ячеистой структурой сотового легкого заполнителя.

**Целью диссертационной работы** является исследование прочности несущих поверхностей авиационной техники (трехслойных панелей) при введении локальных геометрических изменений в сотовом заполнителе трехслойных панелей для снижения массы сотового заполнителя.

**Методы проведения исследований** включают комплексный подход с использованием методов теории упругости и теории пластин и оболочек для построения основных уравнений, методов эффективных модулей и микромеханический анализ для определения локальных жесткостных характеристик нерегулярного заполнителя, численные методы, включая метод конечных элементов, для верификации и получения эталонных решений, аналитические и полуаналитические методы решения дифференциальных уравнений. Автор разработал соответствующие программы и провел натурные эксперименты для тестирования разработанной методики.

**Для достижения цели** диссертации автором решаются следующие задачи:

1. Анализ существующих моделей и методов расчета трехслойных конструкций и определение ограничений их применимости при учете нерегулярности сотового заполнителя;
2. Разработка математической модели, позволяющей описывать локальные изменения структуры сотового заполнителя;
3. Разработка численно-аналитической методики расчета напряженно-деформированного состояния сотового заполнителя с нерегулярной структурой;
4. Реализация численно-аналитической методики расчета в виде программы для ЭВМ;
5. Проведение экспериментальных исследований и выполнение конечно-элементного анализа трехслойных панелей с нерегулярной сотовой структурой;

6. Выполнение параметрического анализа влияния различных типов нерегулярности на напряженно-деформированное состояние (НДС) трехслойных панелей;

7. Формулировка рекомендаций по рациональному проектированию трехслойных панелей с переменным шагом ячейки применительно к объектам авиационной техники.

**Научная новизна** результатов диссертации:

1. Предложен новый метод определения НДС трехслойных панелей с нерегулярной сотовой структурой, учитывающий локальные изменения и переменность свойств сотового заполнителя по направлениям через переменные жесткостные характеристики заполнителя;

2. Разработана численно-аналитическая методика расчета НДС, реализованная в виде программы для ЭВМ, позволяющая с высокой точностью и меньшими вычислительными затратами по сравнению с прямым МКЭ-моделированием рассчитывать НДС панелей с переменным вафельным фоном;

3. Установлены количественные закономерности влияния геометрических параметров нерегулярностей на распределение напряжений и перемещений в трехслойной панели.

**Практическая значимость** диссертационной работы состоит в возможности ускорения определения НДС трехслойных панелей с переменной структурой сотового заполнителя на ранних этапах проектирования и на последующем этапе выбора рациональных геометрических размеров сотового заполнителя с целью снижения массы конструкций при достаточных уровнях их прочностных и жесткостных характеристик.

**Достоверность результатов диссертации** обеспечивается:

1. Корректным использованием применяемых математических методов;

2. Физически и математически обоснованными математическими моделями, в рамках которых проведены расчеты и получены научные и практические результаты;

3. Результатами экспериментов на трехслойных образцах с нерегулярной структурой сотового заполнителя и совпадением результатов этих испытаний с результатами численных расчетов по предложенной методике.

**Внедрение результатов диссертационной работы.** В автореферате диссертации не приводятся данные по внедрению результатов диссертационной работы.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 2-х конференциях, входящих в международные системы цитирования и в 12-ти докладах на всероссийских и международных научных конференциях.

**Публикации.** По теме проведенных в диссертации исследований имеется 16 публикаций, в том числе две публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Имеются публикации в 12-ти сборниках тезисов докладов в материалах всероссийских и международных научных конференций.

Разработанная автором программа имеет свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2025688357.

Все публикации достаточно полно характеризуют **личный вклад автора**.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа, согласно автореферату, состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка сокращений, списка литературы, содержащего 180 наименований. Общий объем диссертации – 228 страниц, включая 23 таблицы и 169 рисунков.

Положения, выносимые на защиту, разработаны во введении и четырех главах диссертации.

**Разработан новый метод расчета напряженно-деформированного состояния трехслойных панелей с нерегулярной легкой сотовой структурой для обеспечения прочности несущих поверхностей авиационной техники, в которых локальные изменения и нелинейность свойств заполнителя по направлениям учитываются через переменные жесткостные характеристики заполнителя, а расчет осуществляется по ускоренной методике, которая достаточно точно описывает переменные свойства сотового заполнителя.**

**В диссертационной работе получены новые результаты, которые включают:**

1. Анализ существующих моделей и методов расчета трехслойных конструкций и отмечены недостатки в части неучета нерегулярностей сотового заполнителя, таких как переменные жесткостные характеристики заполнителя;
2. Математическая модель, основанная на теории Рейснера и методе малых возмущений, для эффективного расчета напряженно-деформированного состояния панелей, позволяющая описывать локальные изменения регулярности структуры сотового заполнителя;

3. Разработка автором численно-аналитического метода расчета НДС трехслойных панелей с нерегулярной сотовой структурой заполнителя, основанный на математической модели теории упругости и разложении в двойные ряды Фурье при условии шарнирного опирания по границам прямоугольного участка трехслойной панели, в предположении изотропно-изгибной жесткости панелей и анизотропной сдвиговой жесткости;

4. Разработка автором программного комплекса для определения рациональной геометрии заполнителя, позволившего получить снижение массы заполнителя на 8,5 % за счет оптимизации сотовой структуры;

5. Экспериментальные исследования и конечно-элементный анализ трехслойных панелей с нерегулярной сотовой структурой, подтвердившие приемлемую точность разработанной методики;

6. Параметрический анализ влияния нерегулярностей сотовой структуры, на НДС панелей и выявление значительных изменений в распределении касательных напряжений в сотовом заполнителе;

7. Показана технологическая целесообразность 3-Д печати для изготовления неравномерных сотовых структур для трехслойных панелей.

**В качестве замечаний** к автореферату можно отметить следующее:

1. Не приведено данных о сокращении времени расчета при использовании предложенной методики по сравнению с известными методами расчета, например методом конечных элементов;

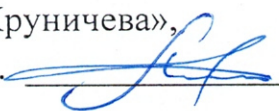
2. В автореферате прямо не указано, что в ослабленных частях неоднородной сотовой структуры напряжения возрастают и возникает вопрос, правильно ли обозначены графики на рисунке 12 г), где показана регулярная структура с повышенным уровнем напряжений (красный цвет линии). Повышенные напряжения должны иметь место при разреженной структуре;

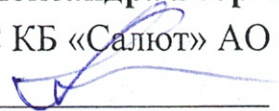
3. В автореферате имеется большое число опечаток и неточностей.

**Отмеченные замечания** не снижают научной и практической ценности работы.

В целом, судя по автореферату, учитывая актуальность, научную новизну, практическую значимость и апробацию диссертационная работа **«Метод расчета напряженно-деформированного состояния трехслойных панелей с нерегулярной сотовой структурой для обеспечения прочности несущих поверхностей объектов авиационной техники»**, соответствует требованиям паспорта специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов». Автор диссертационной работы Котович Илья Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» (технические науки).

Отзыв обсужден и одобрен на заседании научно-технического совета  
КБ «Салют» (секции НТС ГКНПЦ им. М.В. Хруничева)– протокол № 2542  
от « 18 » декабрь 2025г.

Отдел «Динамических нагрузок и прочности конструкций» КБ «Салют»  
АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»,  
Ведущий инженер, к.т.н.  Бахтин Александр Георгиевич

**Подпись Бахтина Александра Георгиевича. заверяю:**  
Ученый секретарь НТС КБ «Салют» АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»  
к.т.н.  Белкин Андрей Андреевич.