

ПРИМЕНЕНИЕ ГИПЕРУПРУГОГО МАТЕРИАЛА В ОЦЕНКЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТА ДВЕРИ САМОЛЕТА

Зеньков Е.В.

*Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск,
Россия*

Ключевые слова: гиперупругий материал, уплотнение, дверь самолета, деформированное состояние, метод конечных элементов, контактная задача.

Аннотация. В статье рассматривается применение численного метода конечных элементов для оценки деформированного состояния уплотнения из гиперупругого материала, используемого в конструктивных элементах двери пассажирского самолета. Моделирование такой задачи выполнено с применением расчетной схемы, включающей одновременное взаимодействие различных конструктивных элементов с различными физико-механическими свойствами.

APPLICATION OF HYPERELASTIC MATERIAL IN EVALUATION OF DEFORMED CONDITION OF AIRCRAFT DOOR ELEMENT

Zenkov E.V.

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

Keywords: hyperelastic material, seal, aircraft door, deformed state, finite element method, contact problem.

Abstract. The article describes application of numerical finite element method for evaluation of deformed state of hyperelastic material seal used in structural elements of passenger aircraft door. Modeling of such a task is carried out using a design scheme involving simultaneous interaction of various structural elements with different physical and mechanical properties.

В настоящее время при решении различных технических задач механики и прочности высоконагруженных конструкций различного назначения могут быть использованы изделия из резиноподобных материалов (эластомеров), в том числе резины [1-4]. Этот материала принимает широкую область применения в разных сферах. Однако остаются вопросы при изучении совместной работы резиноподобных материалов с деталями из других материалов, находящихся с ними в контакте. Особую актуальность эти вопросы имеют в авиации в связи с высокой плотностью компоновки сложных механизмов, многономенклатурностью применяемых деталей и др. Также высокие требования к авиационным эластомерам предъявляются в связи с широким диапазоном температур и перегрузок при эксплуатации изделия [2, 3]. К этим требованиям относятся: сохранение эластических свойств, физико-механических показателей, стойкость к различным агрессивным средам. Далее показано применение гиперпластичных свойств резины для оценки деформированного состояния элемента двери самолета

Конструкция двери самолёта МС-21 имеет тип C-type: при закрытии створка двери имеет приподнятое положение, а при фиксации к фюзеляжу прижимается вниз. При этом специальные упоры на проёме двери располагаются с наружной стороны створки и фиксируют ответные части упоров на створке (рис. 1). Избыточное давление изнутри исключает самопроизвольное открытие двери.

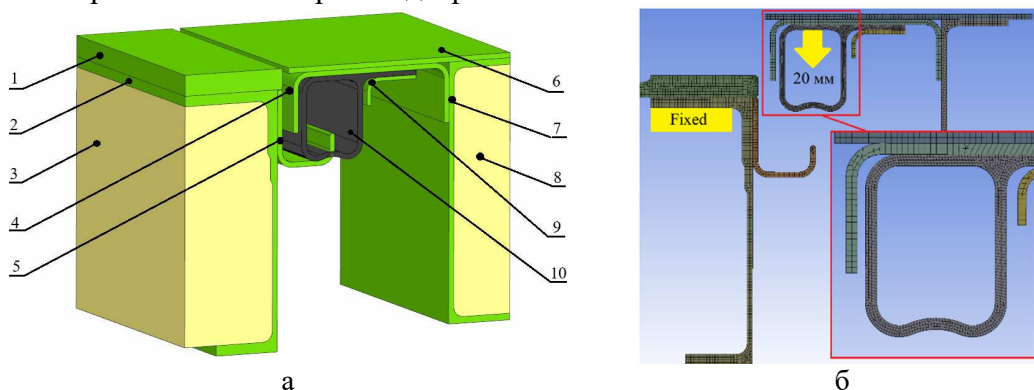


Рис. 1. Конструкции части пассажирской двери а – геометрическая модель, б – расчетная модель для анализа деформированного состояния, 1 – обшивка фюзеляжа, 2 – шпангоут фюзеляжа, 3 – ТЗИ фюзеляжа, 4 – прокладка, 5 – упор уплотнения, 6 – обшивка створки, 7 – шпангоут створки, 8 – ТЗИ створки, 9 – накладка, 10 – уплотнение резиновое

Из рисунка 1, а видно, что резиновое уплотнение имеет начальное – недеформированное состояние, при этом его геометрия имеет пересечение с геометрией упора, что невозможно в реальности, и на первом этапе необходимо получить конечное состояние уплотнения, достигаемое на аэродроме при закрытии двери. Для этого был выполнен ряд следующих задач:

1. Заданы свойства для участвующих при расчете материалов, в том числе для гиперупругого – на основании данных из [4-7].

1. Разработана исходная геометрия (рис. 1) и перемещены элементы створки от проёма на расстояние, обеспечивающее гарантированный зазор между резиновым уплотнением 10 и упором 5.

2. Построена конечно-элементная сетка с увеличенной плотностью в зоне потенциальных контактов уплотнения с металлическими элементами конструкции (рис. 1, б).

3. Заданы граничные условия, обеспечивающие фиксацию обшивки фюзеляжа и перемещение геометрии створки в положение «закрыто». Заданы условия контакта между телами, где с учетом того, что уплотнение изготовлено из гиперупругого материала, принимается допущение, что остальные элементы конструкции склеены по сопрягаемым поверхностям.

4. Решение статической задачи по определению деформированного состояния. Основные физико-механические характеристики материалов, участвующих в расчёте, указаны в таблице 1.

Табл. 1. Физико-механические характеристики материалов

№	Материал	№ тела	Плотность ρ , кг/м ³	Модуль Юнга E (C_{10} , C_{01}), МПа [4]	Кэф. Пуассона, μ
1	Д16Т	1, 2, 4, 5, 6, 7, 9	2770	71000	0,33
2	Резина техническая	10	1200	1,4308 -0,1537	0,49
3	Теплоизолирующий материал	3, 8	75	0,26	0,3

По результатам выполнения всех этапов алгоритма и проведения соответствующего статического анализа расчетная программа, реализующая метод конечных элементов (МКЭ), выдает соответствующие распределения перемещений в рассматриваемых телах (рис. 2).

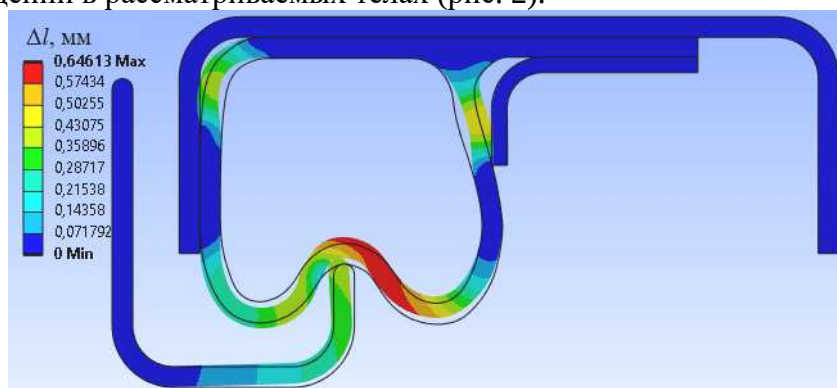


Рис. 2. Деформированное состояние части элементов двери самолета

В связи с тем, что при исследовании деформированного состояния резинового уплотнения использовалась техническая резина [5], а не идентичный используемому в конструкции МС-21 материал, обладающий большей эластичностью, конечное деформированное состояние не в полной мере соответствует действительности. В реальности, предположительно, материал уплотнения за счёт изменения внешнего контура в большей степени увеличит свою площадь, заняв всё свободное пространство между деталями №4 Прокладка и №9 Накладка (см. рис. 1).

Несмотря на данное обстоятельство, методика показывает, что влияние учтенных нагрузок на гиперупругие свойства материалов существенно, и способно повлиять на изменение конфигурации деталей. Так, из рисунка 2 видно, что материал уплотнения «проскользил» по упору (детали №5) вследствие чего, при определённой шероховатости поверхности и несовершенстве изготовления контактирующих деталей, возможны потери воздуха и, как следствие, разгерметизация салона, показателем которой будет служить «свист воздуха».

Список литературы

1. Когаев В.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.
2. Аверко-Антонович Ю.О., Омельченко Р.Я., Охотина Н.А., Эбич Ю.Р. Технология резиновых изделий. – Л.: Химия, 1991. – 351 с.
3. Колпак Е.П. Большие деформации резиновых мембран // Молодой учёный. – 2014. – №16(75). – С. 78-83.
4. Михайлов Д.А., Пыхалов А.А., Зеньков Е.В., Артюнин А.И. Методика испытания образцов из эластомеров для получения механических характеристик их гиперупругости и конечно-элементного моделирования деформируемых сборных конструкций // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – №4(72). – С. 38-47.
5. Зеньков Е.В. Определение жесткостных характеристик эластомеров для проведения вычислительных экспериментов резиноподобных конструкций // Механики XXI века. – 2022. – № 21. – С. 241-246.
6. Шмурак М.И., Кучумов А.Г., Воронова Н.О. Анализ гиперупругих моделей для описания поведения мягких тканей организма человека // Master's Journal. – №1. – 2017. – С. 230-243.
7. ГОСТ 270-75. Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении. – М.: ИПК Изд-во стандартов. – 2008, 11 с.

References

1. Kogaev V.P. Calculations of machine parts and structures for strength and durability: Handbook. – M.: Mechanical Engineering, 1985. – 224 p.
2. Averko-Antonovich Yu.O., Omelchenko R.Ya., Okhotina N.A., Ebich Yu.R. Technology of rubber products. – L.: Chemistry, 1991. – 351 p.
3. Kolpak E.P. Large deformations of rubber membranes // Young scientist. 2014, no. 16(75), pp. 78-83.
4. Mikhailov D.A., Pykhalov A.A., Zenkov E.V., Artyunin A.I. Procedure for testing samples from elastomers to obtain mechanical characteristics of their hyperelasticity and finite element modeling of deformable prefabricated structures // Modern technologies. Systems analysis. Modeling. 2021, no. 4(72), pp. 38-47.
5. Zenkov E.V. Determination of the stiffness characteristics of elastomers for computational experiments of rubber-like structures // Mechanics of the XXI century. 2022, no. 21, pp. 241-246.
6. Shmurak M.I., Kuchumov A.G., Voronova N.O. Analysis of hyperelastic models to describe the behavior of soft tissues of the human body // Master's Journal. 2017, no. 1, pp. 230-243.
7. GOST 270-75. Rubber. A method for determining elastic–strength properties under tension. – M.: IPK Publ. house of Standards, 2008, 11 p.

Зеньков Евгений Вячеславович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления качеством и инженерная графика	Zenkov Evgeniy Vyacheslavovich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of quality management and engineering graphics of
jovanny1@yandex.ru	

Received 27.02.2026