

УДК 629.7.024

Моделирование напряженно-деформированного состояния и оценка областей появления дефектов в крыле легкого самолета из полимерного композиционного материала при соударении с птицей

Вай Ян У

waiyanoo6977@gmail.com

SPIN-код: 3542-6554

Михайловский Константин Валерьевич

mikhaylovskiy@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрено крыло легкого самолета Piper PA-28 при моделировании соударения с птицей с использованием программного комплекса ANSYS Explicit Dynamics с анализом областей возможного появления дефектов и их развития. Для моделирования удара крыло считается твердым телом и учитывается анизотропия характеристик полимерного композиционного материала, а геометрическая модель птицы представляет собой набор связанных частиц (реализуется SPH-метод). Первоначально моделировалось воздействие аэродинамических нагрузок на крыло и выбор рациональной конструктивно-силовой схемы из полимерного композиционного материала. Далее полученное напряженно-деформированное состояние крыла использовалось как начальные условия при моделировании соударения с птицей. Варьировалась скорость удара птицей, а также изучены и разные области попадания в крыло. Дополнительно исследованы возможные области возникновения дефектов и микротрещин в конструктивно-силовой схеме крыла с учетом анизотропии композиционного материала и схем армирования. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования конструкций крыльев легких спортивных самолетов и повышения их безопасности при столкновениях с птицами.

Ключевые слова: крыло, конструктивно-силовая схема, моделирование ударных нагрузок, напряженно-деформированное состояние, параметрическая оптимизация, углепластик

Modeling of the stress–strain state and assessment of defect occurrence areas in the wing of a light aircraft made of polymer composite material during bird strike

Wai Yan Oo

waiyanoo6977@gmail.com

SPIN-code: 3542-6554

Mikhaylovskiy Konstantin Valeryevich

mikhaylovskiy@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The present work considers the wing of a light aircraft Piper PA-28 in the context of bird strike modeling using the ANSYS Explicit Dynamics software package, with analysis of possible defect initiation areas and their propagation. For impact modeling, the wing is treated as a rigid body, while accounting for the anisotropy of the properties of the polymer

composite material. The geometric model of the bird is represented as a set of interconnected particles (implemented via the SPH method). Initially, the aerodynamic loads on the wing were simulated in order to select a rational structural-strength layout made of polymer composite material. The resulting stress–strain state of the wing was then used as the initial condition in the bird strike simulation. The bird impact velocity was varied, as well as the regions of impact on the wing. Additionally, potential zones of defect and microcrack initiation in the structural-strength scheme of the wing were investigated, taking into account the anisotropy of the composite material and reinforcement schemes. The obtained results can be applied to the improvement of wing designs of light sport aircraft and to enhancing their safety during bird strike events.

Keywords: wing, structural-strength scheme, impact load modeling, stress–strain state, parametric optimization, carbon fiber

Введение. В настоящее время столкновения самолетов с птицами остаются значимой угрозой авиационной безопасности, так как могут привести к серьезным последствиям, особенно для легких самолетов общего назначения. Перед вводом в эксплуатацию самолеты должны быть сертифицированы на соответствие доказанному уровню защиты от ударов птиц. Полностью защищенная от таких воздействий конструкция недостижима, поэтому ключевым требованием является обеспечение возможности безопасной посадки после столкновения [1]. Поскольку проведение экспериментальных испытаний требует значительных финансовых и временных затрат, то компьютерное моделирование становится важным и практически незаменимым инструментом при проектировании конструкций с повышенной устойчивостью к ударам птиц. Для обеспечения высокой весовой эффективности проводится оптимизация конструкции крыла и широкое применение полимерных композиционных материалов [2].

Материалы и методы. Рассматриваемая конструктивно-силовая схема крыла легкого спортивного самолета выполнена из полимерного композиционного материала. Обшивка имеет толщину 3 мм, нервюры — 2 мм, лонжерон — 4 мм. Расчет оптимальных толщин силовых элементов проводился с помощью модуля OPTISLANG в составе программного комплекса ANSYS, с учетом расположения лонжеронов на 25 и 60 % хорды крыла, а также расстояния между нервюрами, равного 550 мм. Силовая схема крыла представлена на рис. 1.

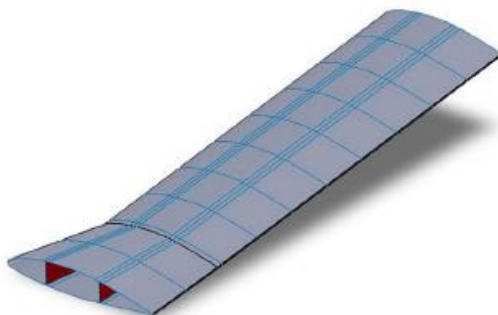


Рис. 1. Конструктивно-силовая схема легкого самолета Piper PA-28

В конструкции крыла используется углепластик со схемой армирования $[0^\circ, \pm 45^\circ, 90^\circ]_n$. Толщина одного монослоя составляет 0,2 мм. Характеристики приведены в работе [3].

Первоначально моделировалось воздействие аэродинамических нагрузок на крыло и выбор рациональной конструктивно-силовой схемы из полимерного композиционного материала. Расчет аэродинамических нагрузок, возникающих в полете, проводился в программном комплексе ANSYS Fluent с учетом скорости и высоты полета [4]. Расчет нагрузки выполнялся для крейсерского режима полета на высоте 3500 м при скорости 65 м/с.

Далее полученное напряженно-деформированное состояние крыла использовалось как начальные условия при моделировании соударения с птицей. Варьировалась скорость удара птиц, а также изучены и разные области попадания в крыло. Дополнительно исследованы возможные области возникновения дефектов и микротрещин в конструктивно-силовой схеме крыла с учетом анизотропии композиционного материала и схем армирования [5].

Постановка задачи и результаты. Одним из важных факторов для получения корректных результатов является геометрия ударного элемента (птицы). В расчетах форма птицы принята в виде цилиндра с полусферическими торцами. Параметры модели птицы: длина — 200 мм, диаметр — 100 мм, плотность — 1000 кг/м³, масса — 2,2 кг [6].

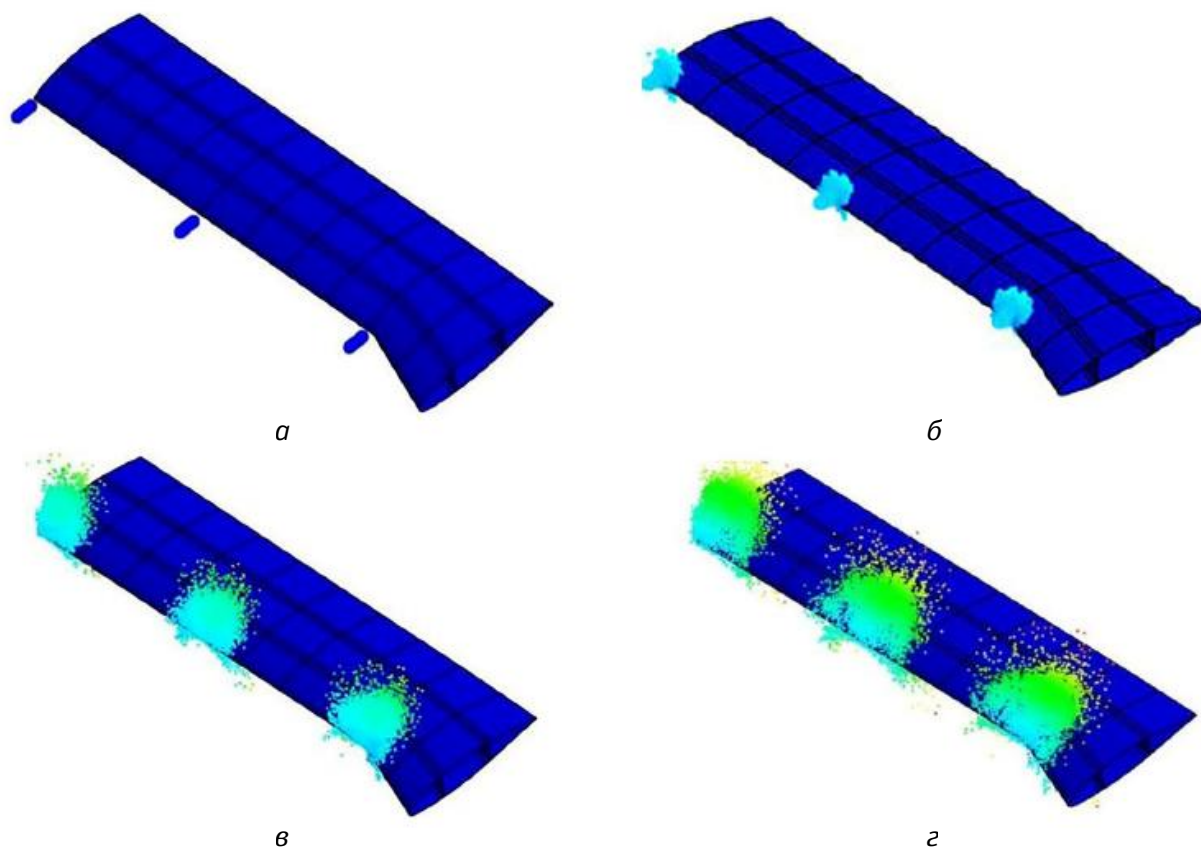


Рис. 2. Общие перемещения в крыле из углепластика при ударе птицами со скоростями 80 м/с в различные моменты времени:

а — 0,00052 с; б — 0,00368; в — 0,0065; г — 1,02 по крылу

Первоначально на крыло действуют аэродинамические силы, а ударная нагрузка от птицы прикладывается по нормали к фронтальной кромке крыла. В работе проведено исследование ударных воздействий птицы на конструкцию при различных скоростях удара 30, 60, 80, 100 и 120 м/с. На рис. 2 показана последовательность удара птицы по передней кромке композитного крыла при скорости 80 м/с.

В таблице приведены обобщенные результаты напряженно-деформированного состояния крыла при ударе птицами. Результаты моделирования показали, что оптимальная конструкция крыла из углепластика с выбранной схемой армирования и геометрическими параметрами выдерживает ударные нагрузки от птиц при различных скоростях.

Результаты расчета при различных скоростях удара птицы

Скорость V , м/с	Масса птицы m , кг	Прогиб δ , мм	Максимальное растягивающее напряжение σ_t , МПа	Максимальное сжимающее напряжение σ_c , МПа
30	2,2	13,01	172,7	-106,9
60		14,39	208,7	-240,3
80		16,81	426,2	-599,3
100		28,66	518,7	-666,5
120		38,85	827,5	-1037,6

Заключение. Из анализа результатов расчета можно сделать вывод, что конструкция крыла со схемой армирования $[0^\circ, \pm 45^\circ, 90^\circ]_n$ выдерживает ударные нагрузки от птиц массой до 2,2 кг при скоростях удара от 30 до 120 м/с, в том числе при соударении в разных областях. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации конструкций крыльев легких спортивных самолетов, что повысит их безопасность при столкновениях с птицами.

Список источников

- [1] Tooren M., Kassapoglou C., Bersee H. Composite materials, structures and systems. *The Aeronautical Journal*, 2011, vol. 115, no. 1174. <https://doi.org/10.1017/s0001924000006527>
- [2] Карташова Е.Д., Муйземнек А.Ю. Технологические дефекты полимерных слоистых композиционных материалов. *Изв. вузов. Поволжский регион. Техн. науки*, 2017, № 2 (42), с. 79–89. <https://doi.org/10.21685/2072-3059-2017-2-7>
- [3] Вай Ян У. Моделирование напряженно-деформированного состояния панели из полимерных композиционных материалов при действии однократной ударной нагрузки и оценка областей появления. *Вестник Московского авиационного института*, 2025, т. 32, № 1, с. 112–123.
- [4] Чепурных И.В. *Прочность конструкций летательных аппаратов*. Комсомольск-на-Амуре, КНАГТУ, 2013, 137 с.
- [5] Вышинский В. Столкновение самолета с птицей. *Квант*, 2009, № 6, с. 30–31.
- [6] Голдовский А.А., Фирсанов В.В. Алгоритмы исследования ударного взаимодействия элементов авиационных конструкций. *Труды МАИ*, 2020, № 111. <https://doi.org/10.34759/trd-2020-111-6>