

УДК 534.1:539.3:629.7.02

Г.Г. Онгирский, канд. техн. наук,
А.Н. Шупиков, д-р. техн. наук,
С.В. Угримов, канд. техн. наук,
В.Г. Ярещенко, канд. техн. наук,
В.П. Уколов,
В.Ф. Самойленко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПТИЦЕСТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ САМОЛЕТА

Обеспечение птицестойкости элементов конструкций самолета является важной задачей, от успешного решения которой зависит безопасность экипажа и пассажиров. С 1962 года произошло более 50 серьезных авиационных происшествий, связанных со столкновением самолетов с птицами. Согласно статистическим данным [1], только за период 1990 – 2007 гг. зафиксировано 94743 случая столкновений воздушных судов с птицами. Из 10919 детально документированных столкновений за указанный период, в 13,9% случаев наблюдались различные повреждения. Как правило, они происходили при ударе птиц массой более 0,9 кг. В большинстве случаев столкновение самолетов с птицами не приводит к серьезным последствиям. Это объясняется прежде всего тем, что конструкции современных самолетов проектируются с учетом возможного столкновения с птицами массой 1,81 кг. Это требование зафиксировано соглашением в рамках Международной организации авиации (ИКАО) [2].

При оценке птицестойкости конструкций самолета большое внимание уделяется натурному эксперименту [3, 4, 5]. Использование птиц при таких испытаниях придает реализм получаемым результатам, но сильно усложняет методику их проведения. Кроме того, возникают проблемы психологического характера. Устранить эти недостатки возможно, используя в испытаниях имитаторы птиц.

В настоящее время отсутствует единый стандарт для имитаторов, применяемых в испытаниях на птицестойкость. Работы по выработке такого стандарта только начаты и проводятся международной группой по исследованию столкновений с птицами [5]. Существующие же имитаторы [4-7] имеют ряд недостатков. Это, прежде всего, невысокая точность воспроизведения ударного импульса, относительно сложная технология изготовления и специальные условия их хранения, а также существенное загрязнение помещений для испытаний.

Настоящая работа подводит итог многолетним исследованиям по созданию имитатора птиц для авиационной промышленности Украины [8-12]. Предлагаемый имитатор не требует особых условий хранения, не загрязняет помещение для испытаний, а его остатки легко утилизируются. В работе приведена конструкция имитатора, а также данные натур-

ных экспериментов по удару имитатором и тушкой птицы по жестким плоским мишеням, по носку кия, а также по элементам остекления.

Имитатор птицы

При соударении реальной птицы с конструкцией в ее теле возникает гидравлический удар [4]. Величина и длительность ударного импульса зависит от скорости соударения, физических и механических характеристик птицы. Для точного воспроизведения ударного импульса необходимо обеспечить соответствие геометрических, физических и механических параметров имитатора и реальной птицы.

В качестве базовой модели при создании имитатора была выбрана курица, поскольку ее параметры (физические и геометрические), близки к усредненным характеристикам птиц массой 1,81 кг [4, 13]. Установлено [4, 13], что средняя плотность птицы составляет $0,9-0,95 \text{ г/см}^3$, а плотность ее мышечных тканей – $1,1 \text{ г/см}^3$.

В качестве основного компонента имитатора подобрано кремний-органическое полимерное соединение (силикон) холодного отверждения с плотностью и упругими свойствами аналогичными характеристикам мышечной ткани птицы. Для моделирования полостей и скелета птицы в имитаторе применялся конструктивный элемент, состоящий из соединенных между собой пустотелых пластмассовых шариков. Это позволяло достичь средней плотности имитатора соответствующей средней плотности птицы ($0,93 \text{ г/см}^3$).

В результате анализа существующих форм имитаторов птиц (прямой цилиндр; цилиндр, сопряженный с полусферами; эллипсоид; шар) и их характеристик было установлено, что форма имитатора в виде цилиндра, сопряженного с полусферами, наиболее точно воспроизводит параметры удара, особенно по конструкциям, не имеющим острых краев. Поэтому для изготовления имитатора выбрана форма в виде цилиндра, сопряженного с полусферами (рис. 1).

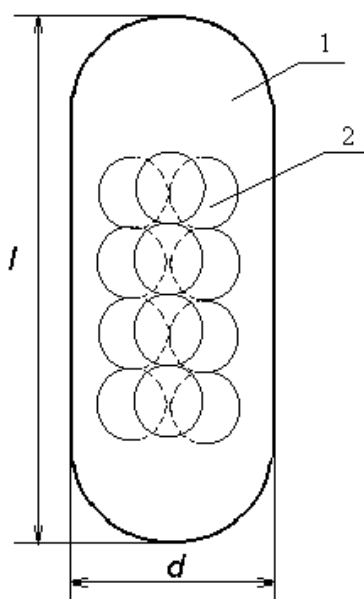


Рисунок 1 – Имитатор
(1 – силикон,
2 – скелет)

Длина имитатора соответствует длине среднестатистической тушки курицы массой 1,81 кг и равна $l = 24 \text{ см}$ [13]. Из условия равенств площадей миделева сечения птицы и имитатора выбран диаметр снаряда, который равен $d = 11 \text{ см}$.

Для оценки характеристик имитатора по воспроизведению воздействия птицы на элементы конструкций самолета был проведен комплекс экспериментальных исследований, состоящий из трех частей:

- исследование деформаций стальной плиты-мишени при ударе имитатором и тушками птиц на разных скоростях и углах соударения;
- сравнительное исследование характера разрушений киля самолета при ударе имитаторами и птицей;
- исследование деформаций лобового остекления самолета при ударе имитаторами и птицей.

Стенд для испытаний

Испытательный стенд состоит из разгонного устройства для метания, тензометрического комплекса и различных мишеней.

Для разгона метаемых объектов применялось пневматическое разгонное устройство АНТК им. О.К. Антонова. Пневматическое устройство (рис. 2) состоит из напорного резервуара 1, заполняемого сжатым воздухом под давлением P_0 , специального клапана быстрого выпуска воздуха 2 и ствола 3. Диаметр ствола составляет 150 мм, а базовая длина – 8,4 м. Для метания на высоких скоростях ствол наращивался до длины 14,7 м. Для исключения повреждений имитатора и тушек птиц о канал ствола применялся пыж-контейнер оригинальной конструкции, который отсекался специальным улавливателем.

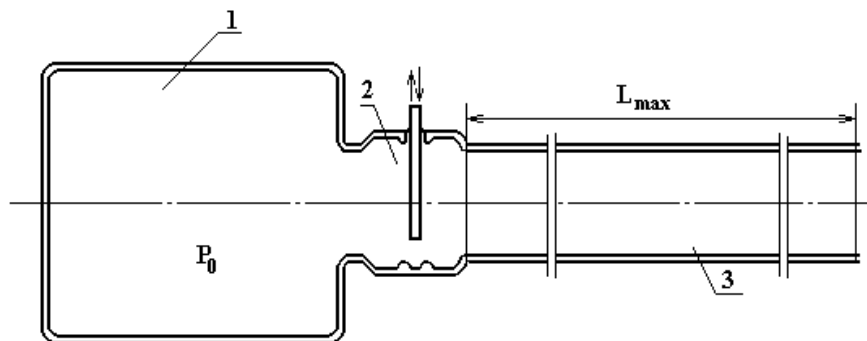


Рисунок 2 – Принципиальная схема пневматического устройства (1 – ресивер; 2 – клапан; 3 – ствол)

Для регистрации деформаций плиты использовалась методика и аппаратура, разработанные в ИПМаш НАН Украины. Измерение деформаций проводилось методом динамического широкополосного тензометрирования. Для этого посередине тыльной поверхности мишени наклеивалась розетка тензодатчиков, для этого использовались малобазные (база измерения 1 мм) фольговые тензорезисторы.

На рис. 3 представлена блок-схема применяемой аппаратуры.

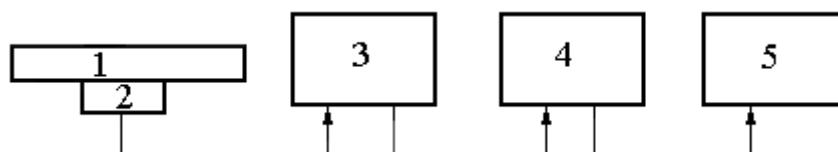


Рисунок 3 – Блок-схема системы регистрации деформаций

Сигналы с тензодатчиков (2), наклеенных на мишень (1), поступают на тензоусилитель (3), а затем – на измерительно-вычислительный комплекс. В качестве датчика запуска используется один из тензрезисторов (2). При приложении к плите нагрузки он вырабатывает сигнал, поступающий через линию связи и тензостанцию на генератор синхронных импульсов. Генератор синхронных импульсов используется для одновременного запуска всех измерительных каналов при поступлении на него сигнала с датчика запуска. Он выполнен в стандарте КАМАК. Кроме того, в крейте КАМАК (4) расположены генератор тактовых импульсов, аналого-цифровые преобразователи с максимальной частотой тактирования 40 МГц, а также контроллер крейта. Генератор тактовых импульсов используется для подачи одинаковых по величине тактовых импульсов на все каналы измерения. Адаптер, расположенный непосредственно в компьютере (5), и контроллер крейта служат для организации диалога между компьютером и блоками, расположенными в крейте КАМАК. Тензоусилитель работает на принципе амплитудной модуляции с несущей частотой 1000 кГц.

Измерение деформаций производится по мостовой схеме. Четверть моста находится в измерительной части, четверть – в калибровочной, а оставшаяся половина – в тензоусилителе. Для минимизации тока в измерительной диагонали производится подстройка моста по активной и реактивной составляющим сопротивления.

В качестве мишеней использовалась массивная плита, носок кия, а также элементы лобового остекления самолета.

Удар по стальной плите

Внешний вид стенда приведен на рис. 4. Стенд состоит из: опорной конструкции (1); плиты для крепления (2), размером 1000x1000x100 мм, установленной вертикально на опорной конструкции (1); плиты для испытаний (3), размером 700x700x50 мм, закрепленной в плите (2). Крепление плиты (3) имитирует условия шарнирного опирания.

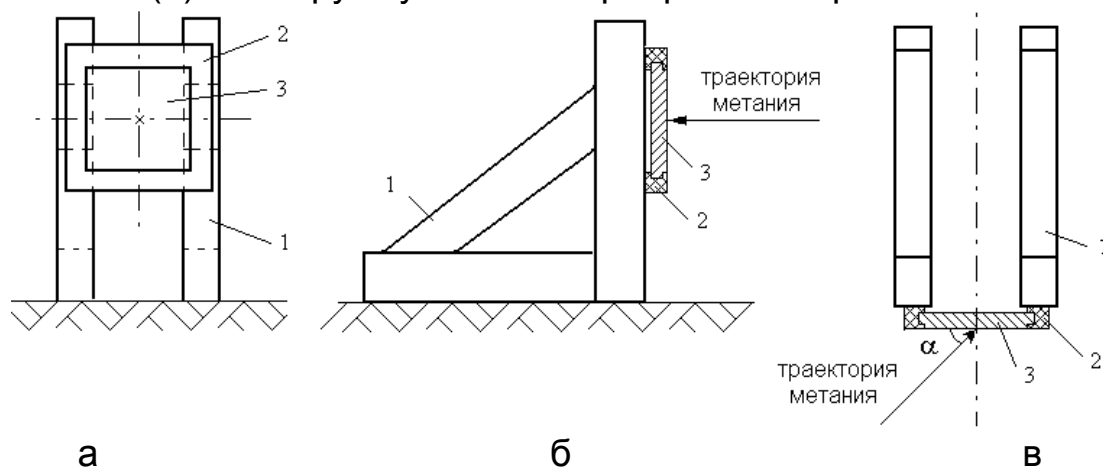
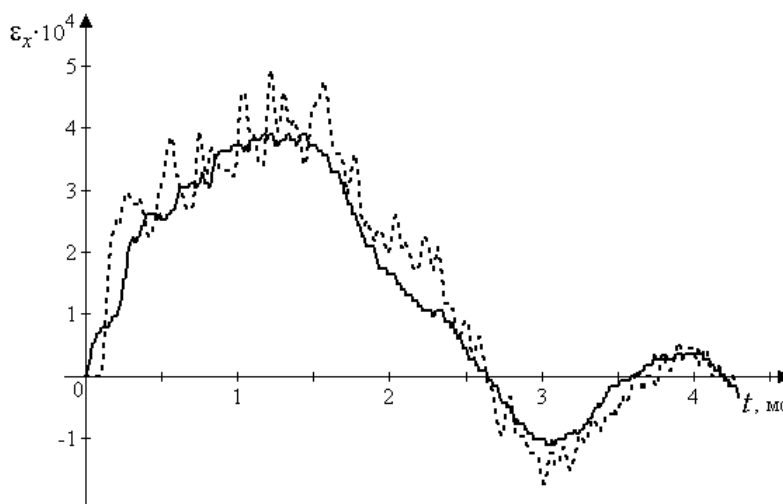


Рисунок 4 – Стенд-мишень (а – вид спереди, б – вид сбоку, в – вид сверху)

Удар метаемым объектом наносился в центр плиты для испытаний (3), которая отодвинута от ствола разгонного устройства на 2 м.

Под точкой удара на тыльную поверхность плиты наклеивалась четырехкомпонентная розетка тензодатчиков. В ходе экспериментов измерялись деформации плиты ε_x , ε_y в направлениях горизонтальной и вертикальной осей.

На первом этапе исследований рассматривались деформации плиты при ударе тушками птиц и имитаторами при $\alpha = 90^\circ$. Было проведено 25 экспериментов, в ходе которых анализировались деформации плиты при ударе имитаторами (18 экспериментов) и тушками птицы (7 экспериментов) [8]. В натурном эксперименте использовались тушки кур массой от 1,62 кг до 1,91 кг. Скорость метания составляла от 144 м/с до 160 м/с.



На рис. 5 приведены деформации плиты при ударе тушкой птицы массой 1,75 кг при скорости соударения 152,5 м/с

(сплошная линия), и при ударе имитатором массой 1,80 кг при скорости соударения 152,9 м/с (пунктирная линия).

Рисунок 5 – Деформации плиты при $\alpha = 90^\circ$

На следующем этапе исследовалась реакция этой же плиты на удар имитаторами и тушками птиц при разных углах α (рис. 4) и скоростях V соударения. Было проведено 40 экспериментов. Среди них 27 экспериментов с применением имитаторов и 13 – с тушкой птицы. В качестве птиц в натурном эксперименте использовались тушки кур массой от 1,370 кг до 1,990 кг. Масса метаемых имитаторов составляла от 1,795 кг до 1,895 кг.

Исследовалась реакция плиты при углах соударения 25° , 30° , 35° , 40° , 45° . Скорость метания составляла от 89 м/с до 206 м/с. Результаты части проведенных исследований приведены на рис. 6, 7, более подробное их изложение содержится в работах [9, 11].

На рис. 6, а, б показаны зависимости максимальных значений деформаций ε_x от скорости при углах соударения 30° и 45° . Здесь кружками обозначены результаты, полученные с использованием тушек птиц, квадратами – имитаторов. Сплошной линией показаны результаты аппроксимации экспериментальных данных по удару тушками птиц, пунктирной – имитаторами. Результаты эксперимента аппроксимировались

полиномами с использованием метода наименьших квадратов.

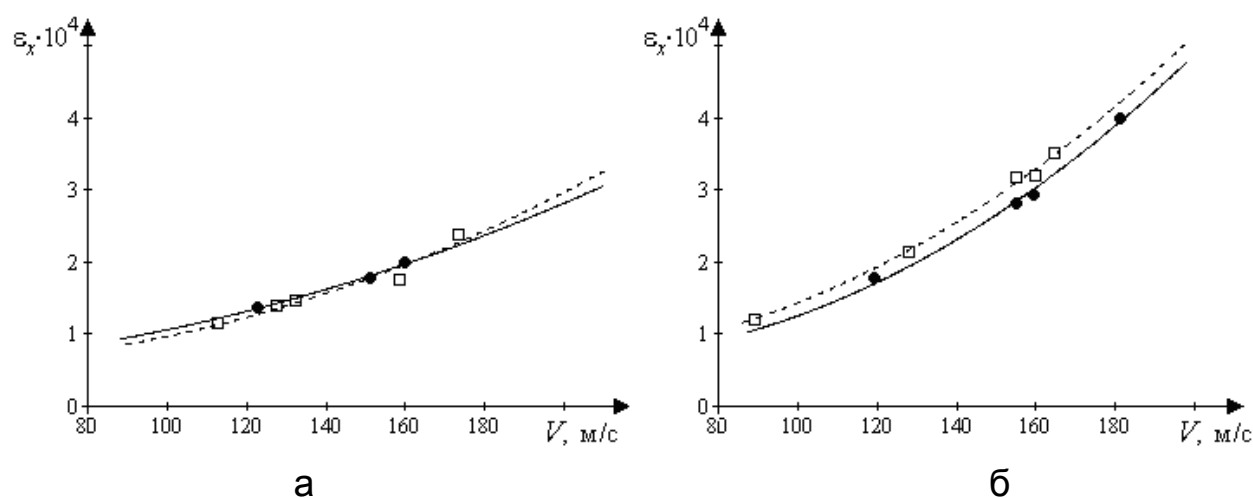


Рисунок 6 – Изменение деформаций плиты в зависимости от скорости соударения, угол соударения (а – $\alpha = 30^\circ$, б – $\alpha = 45^\circ$)

На рис. 7, а, б приведены деформации плиты ε_x , ε_y , зафиксированные при ударе тушкой птицы и имитатором при угле соударения 25° . Сплошной линией показаны деформации при ударе тушкой птицы массой 1,740 кг и скорости соударения 153 м/с, пунктирной – при ударе имитатором массой 1,805 кг, скорость соударения 152,88 м/с.

Из рис. 6, 7 видно, что зависимость деформаций плиты от скорости является квадратичной, а максимальные значения деформаций плиты уменьшаются с уменьшением угла соударения.

В ходе сравнительных экспериментов (рис. 6, 7) было установлено, что реакция плиты на удар имитатором по характеру и максимальным значениям деформаций подобна соответствующей реакции плиты на удар тушкой птицы.

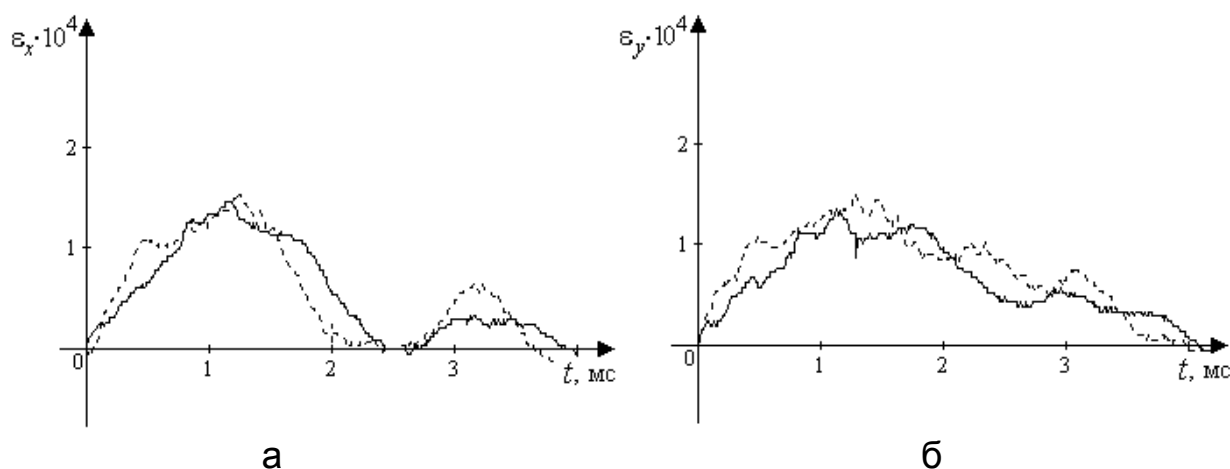


Рисунок 7 – Деформации плиты при $\alpha = 25^\circ$
(а – деформации ε_x , б – деформации ε_y)

Удар по килю

Экспериментальный стенд для исследования характера разрушений киля самолета АН-32 при ударе имитаторами и тушками птиц приведен на рис. 8 Киль самолета был закреплен в опорной конструкции горизонтально. Тензометрирование в этом случае не проводилось, поскольку при ударе птицей наблюдается пробой носка крыла. Производился визуальный осмотр разрушений киля при ударе имитаторами и тушками птиц.

На рис. 9 приведен схематический чертеж, где указано направление метания и точки № 1 – 5 на носке киля, в которые проводилось метание птицы (имитатора). В точки № 1 и № 5 метание производилось тушками птиц, а в точки № 2 – 4 имитаторами.



Рисунок 8 – Экспериментальный стенд

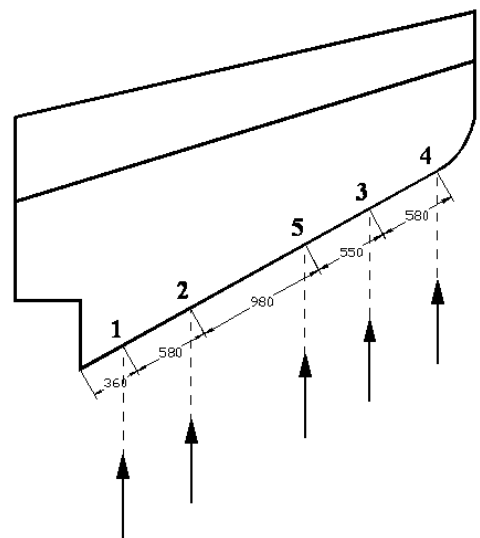


Рисунок 9 – Киль

На рис. 10 приведен вид типичных разрушений носка киля в эксперименте. В приведенном случае удар осуществлялся имитатором массой 1,7 кг, скорость соударения была 165 м/с. Точка удара была между нервюрами, лонжерон частично разрушен.



Рисунок 10 – Разрушения киля в эксперименте № 3

В ходе испытаний установлено, что при ударе, как тушкой птицы, так и имитатором в носке кия наблюдается пробой, средний диаметр которого составляет 140 мм. При этом, если центр удара приходился на нервюру, то лонжерон деформировался, но видимых повреждений не имел. Лонжерон разрушался при ударе между нервюрами. Анализ характера разрушений показал, что наблюдается схожий характер повреждений кия при ударе имитатором и тушкой птицы.

Удар по остеклению самолета

В этом случае стендом-мишенью служила кабина самолета АН-24Б. Исследовалась реакция стекол ТСК 009 (рис. 11) на удар имитатором и тушкой птицы. Стекло ТСК 009 представляет собой обрамленный металлической рамкой стеклоблок, состоящий из трех гнутых силикатных стекол, соединенных склеивающими полимерными слоями. Удар наносился в середину пикового стекла, линия удара была параллельна оси фюзеляжа.

Посередине внутренней поверхности стекла наклеивалась шестикомпонентная розетка тензодатчиков таким образом, чтобы получить деформации в вертикальном, горизонтальном и наклонном (под 45°) направлениях (рис.12).

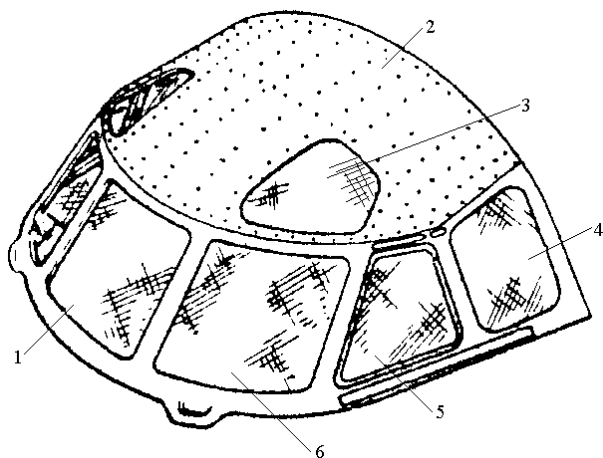


Рисунок 11 – Остекление кабины
(1 – лобовое стекло; 2 – панель;
3 – верхнее стекло; 4 – боковое стекло;
5 – форточка; 6 – левое стекло ТСК 009)

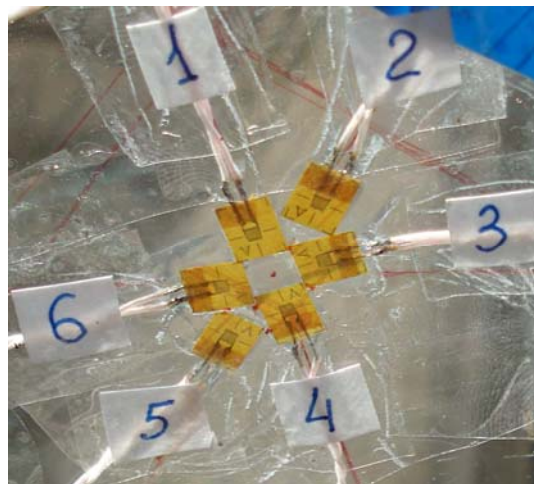
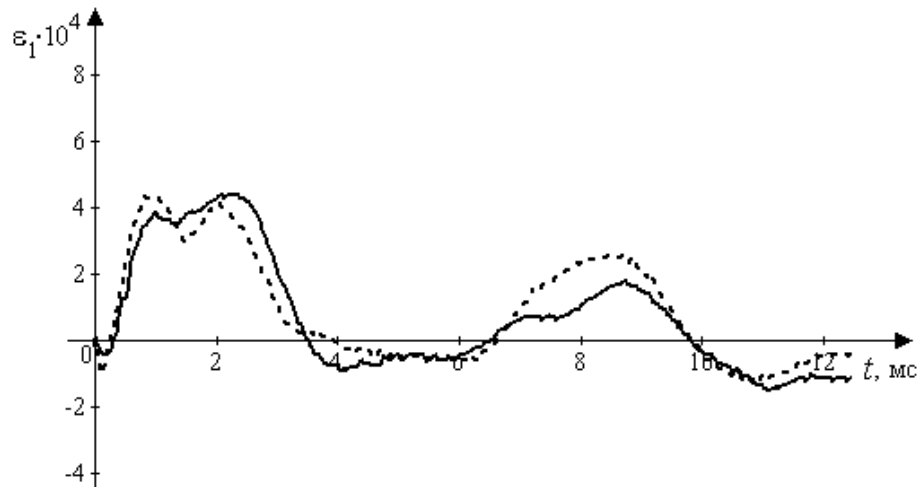


Рисунок 12 – Розетка тензодатчиков

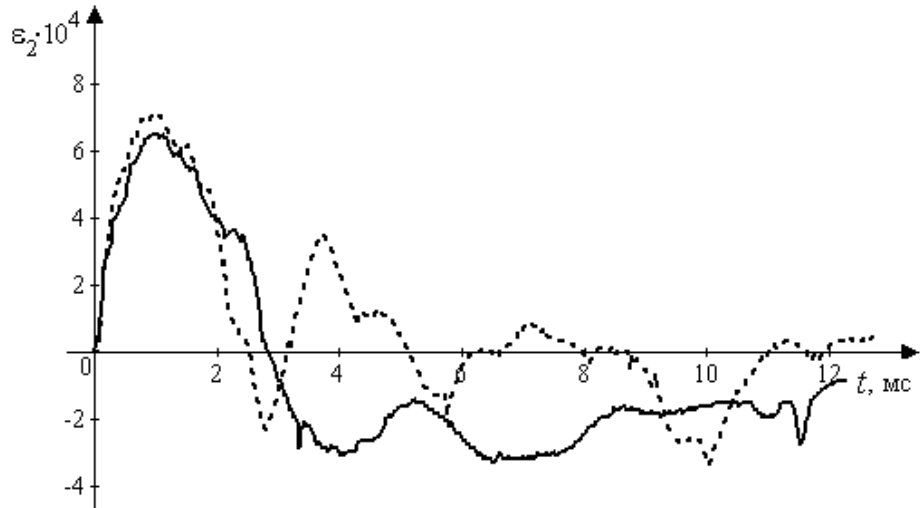
Было проведено 16 экспериментов, в которых исследовалась реакция левого и правого стекол на удар птицей и имитатором. Метание по каждому стеклу ТСК 009 проводилось до момента начала разрушения внутреннего слоя.

На рис. 13, а, б, в приведены деформации ε_1 , ε_2 , ε_3 левого стекла ТСК 009, зафиксированные на тензодатчиках 1, 2, 3, при ударе тушкой птицы и имитатором. На тензодатчиках 4, 5 и 6 (рис. 12) были получены аналогичные данные. Сплошной линией показаны результаты при ударе

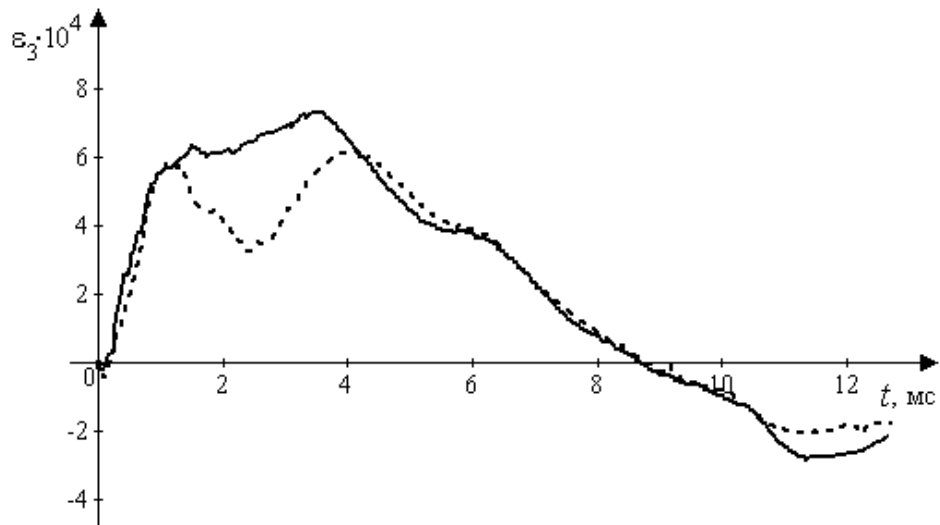
тушкой птицы массой 1,78 кг при скорости соударения 97,54 м/с, пунктирной – при ударе имитатором массой 1,75 кг при скорости соударения 98,63 м/с.



а



б



в

Рисунок 13 – Деформации стекла ТСК 009
(а – деформации ε_1 , б – деформации ε_2 , в – деформации ε_3)

Из рис. 13 видно, что реакция стекла ТСК 009 на удар имитаторами по характеру и максимальным значениям деформаций близка соответствующей реакции на удар тушкой птицы. Более подробные результаты исследований приведены в работе [11].

Выводы

Разработан силиконовый имитатор птицы для испытания элементов конструкций самолета на птицестойкость. В результате обширных сравнительных натуральных экспериментов по исследованию реакции плиты и элементов конструкций самолета (остекление, киль) доказана возможность использования имитаторов для испытаний на птицестойкость. Следует отметить, что технология изготовления и хранения разработанного имитатора достаточно проста, а также не требуется специальных условий. При этом имитатор не загрязняет помещение для испытаний, а его остатки легко утилизируются.

Список использованных источников

1. Bird strike damage and windshield bird strike // European aviation safety agency, Atkins limited and Food and environment research agency [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.easa.europa.eu/rulemaking/docs/research/Final%20report%20Bird%20Strike%20Study.pdf> – Загл. с экрана.
2. Фритш О. Безопасность полетов – задача № 1 // Курьер ЮНЕСКО.– 1978. – С. 20–22.
3. Wang Lili An impact dynamics investigation on some problems in bird strike on windshields of high speed aircrafts / Wang Lili, Zhu Xixiong, Shi Shaoqiu, Gan Su, Bao Hesheng // Acta Aeronautica et Astronautica Sinica. – 1991. – V. 12, № 2. – P. 27–33.
4. Уилбек Дж.С. Разработка модели птицы для ударных испытаний авиационных двигателей / Дж.С. Уилбек, Дж. Л. Ренд // Энергетические машины. – 1981. – Т. 103, № 4. – С. 126–133.
5. Budgey R. The development of a substitute artificial bird by the International Birdstrike Research Group for use in aircraft component testing // Conference of International Bird Strike Committee 25/WP-IE3. – Amsterdam, 2000. – P. 543–550.
6. Fowler H.S. Test on the bird impact resistance of polyuretane foam // Canadian aeronautics and space journal. – 1969. – Vol. 15, № 6. – P. 221–224.
7. Allcock W.R. The development of a dummy bird for use bird strike research/ W.R. Allcock, D.M. Collin // GBARC Current papers. – 1969. – № 1071. – P. 70.
8. Долгополова Н.В. Имитатор птицы для испытаний конструкции самолета на птицестойкость / Н.В. Долгополова, Г.Г. Онгирский,

Н.В. Сметанкина, С.В. Угримов, А.Н. Шупиков, В.Г. Ярещенко // Труды ЦАГИ. Прочность, колебания и ресурс авиационных конструкций и сооружений. – 2007. – Вып. 2675. – М.: ЦАГИ, 2007. – С. 46–50.

9. Онгирский Г.Г. Влияние кинематических факторов на реакцию деформируемой преграды при столкновении с птицей / Г.Г. Онгирский, А.Н. Шупиков, С.В. Угримов // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – 2008. – Вып.5(56). – Харьков: НАКУ. – С.54 – 62.

10. Імітатор птаха, спосіб його виготовлення та спосіб випробування та спосіб випробувань елементів конструкцій Імітатор птиці, способ его изготовления и способ испытания элементов лётальных аппаратов на ударную міцність при зіткненні з птахом: Пат. 81662 Украина: МПК G 09 F19/08/ Долгополова Н.В., Угримов С.В., Сметанкіна Н.В., Свет Е.В., Шупіков О.М., Онгірський Г.Г. – а200510279/UA; Заяв. 31.10.2005; Публ. 25.01.2008, Бюл. №2. – 6 с.

11. Онгирский Г.Г. Исследование реакции деформируемой преграды на удар птицей и имитатором / Г.Г. Онгирский, А.Н. Шупиков, С.В. Угримов // Труды ЦАГИ. Прочность, колебания и ресурс авиационных конструкций и сооружений. – 2009. – Вып. 2683. – М.: ЦАГИ, 2009. – С. 89 – 95.

12. Имитатор птицы, способ его изготовления и способ испытания элементов конструкций летательных аппаратов на ударную прочность при столкновении с птицей: Пат. 2386938 Российская Федерация: МПК G 01M 7/08, G09B 23/36 / Долгополова Н.В., Угримов С.В., Сметанкина Н.В., Свет Е.В., Шупиков А.Н., Онгирский Г.Г. – а200510279/UA; Заявл. 30.10.2006; Опубл. 20.04.2010, Бюл. №11. – 9 с.

13. Голощапов В.Н. Некоторые результаты обобщения физических, геометрических и весовых характеристик птиц, необходимых для оценки динамических процессов при соударении с преградой / В.Н. Голощапов, В.И. Лебединский, В.Э. Якоби, В.И. Янчина // Защита материалов и технических устройств от птиц. Сер. Биологические повреждения.– М.: Наука, 1984.– С. 201–214.

Поступила в редакцию 23.03.2011.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков*