

П. А. ФОМИЧЕВ¹, И. М. СИЛА²

¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина*

² *Государственный научно-исследовательский институт испытаний и сертификации вооружения и военной техники, Чернигов, Украина*

КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЕГРАДАЦИИ ПРОЧНОСТИ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КУПОЛА ПАРАШЮТА ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЛИ ХРАНЕНИЯ

Изложена методика обработки результатов испытаний до разрушения образцов, вырезанных из строп и ткани купола после длительной эксплуатации или хранения парашюта. Принят нормальный закон распределения нагрузок до разрушения. Минимальную разрушающую нагрузку предложено находить как нижнюю доверительную границу в зависимости от числа испытанных образцов и доверительной вероятности 0,99.

Представлены результаты прочностных испытаний образцов из парашютов десантного Д-5 серии 2 1983 года, запасного З-5 1984 года, спасательного С-5К серии 2 1989 года выпуска. В общей сложности испытан 301 образец, включая 54 образца из строп Д-5, по 48 образцов из строп З-5 и С-5К, образцы из тканей куполов по основе и утку. Образцы из строп вырезали у кромки купола, в середине, у дуговых пряжек. Образцы из тканей вырезали в радиальном направлении от вершины до кромки купола. Зависимость прочностных характеристик от расположения образцов по длине стропы или полотнищу купола не установлена. Грубые погрешности в испытаниях по критерию Граббса отсутствуют.

Определены коэффициенты деградации прочности строп и тканей куполов, как отношение разрушающей нагрузки после длительной эксплуатации или хранения к исходным значениям, принятым при проектировании. Отмечена близость коэффициентов деградации строп и тканей куполов. По совокупности результатов испытаний с целью получения минимальных значений коэффициентов деградации установлена линейная зависимость от срока службы парашюта. Этот срок следует отсчитывать от года изготовления парашюта.

Зависимость минимальных коэффициентов деградации (максимальной деградации) от срока службы дает возможность оценить падение прочностных характеристик силовых элементов конструкции с увеличением срока службы. Эта зависимость позволяет прогнозировать максимально допустимую скорость десантирования при решении вопроса о продлении срока службы парашюта.

Ключевые слова: прочность; разрушающая нагрузка; закон распределения; коэффициент деградации; срок службы.

Введение

В процессе эксплуатации или длительного хранения парашютов происходит деградация прочностных характеристик силовых элементов каркаса купола [1]. Под коэффициентом деградации понимаем отношение разрушающей нагрузки после эксплуатации к исходному ее значению, принятому при проектировании парашюта. Вопрос о возможности дальнейшей эксплуатации парашюта при неизменных значениях коэффициентов запаса прочности элементов может рассматриваться только при усло-

вии ограничения скоростей десантирования. В работе [2] рассмотрена зависимость предельных допускаемых нагрузок на парашют, а в [3] – скоростей десантирования в зависимости от коэффициентов деградации прочности силовых элементов. Действительные значения коэффициентов деградации могут быть найдены по результатам испытаний образцов, вырезанных из элементов каркаса купола после установленного срока эксплуатации. Такие работы проведены в лаборатории «Прочность» ХАИ на примере испытаний образцов из купола десантного парашюта Д-5 серии 2 1983 года выпуска, запасного

парашюта 3-5 1984 года, спасательного парашюта С-5К серии 2 1989 года выпуска.

Прочностные характеристики элементов каркаса имеют статистический характер. При проектировании парашютов принимают минимальные гарантированные значения разрушающих нагрузок для строп, ткани купола по основе и утку, усилительных лент и др. с заданным уровнем надежности.

В статье [4] на основе статистического анализа разрушающих нагрузок для элементов каркаса указанных куполов однозначно показана применимость нормального закона распределения. Это позволяет определять разрушающие нагрузки после длительной эксплуатации или хранения как нижнюю доверительную границу с требуемым уровнем надежности.

Цель данной статьи заключается в определении коэффициентов деградации прочности элементов силового каркаса купола парашюта после длительной эксплуатации или хранения.

1. Методика расчета минимальной разрушающей нагрузки элементов каркаса купола парашюта после длительной эксплуатации или хранения

За основу принят подход, изложенный в [5]. Последовательно рассмотрим разделы, относящиеся к задаче обработки результатов прочностных испытаний.

Среднее арифметическое результатов испытаний однотипных элементов каркаса парашюта до разрушения составляет

$$P_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i, \quad (1)$$

где n – число испытанных образцов (объем выборки), P_i – разрушающая нагрузка i -го образца.

Оценка среднего квадратичного отклонения результатов испытаний равна

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_i - P_{cp})^2}. \quad (2)$$

Для исключения грубых погрешностей результатов испытаний целесообразно использовать критерий Граббса.

Нижняя доверительная граница разрушающей нагрузки для элемента конструкции каркаса парашюта с учетом деградации его прочностных характеристик может быть найдена так

$$P_{разр} = P_{cp} - \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

где t – квантиль распределения Стьюдента, который следует находить в зависимости от принятой доверительной вероятности Q и числа испытанных образцов n .

Для определения границ погрешности результатов измерений доверительную вероятность Q часто принимают равной 0,95. В тех случаях, когда измерение нельзя повторить (образец разрушен), помимо доверительной вероятности 0,95, допустимо принимать доверительную вероятность $Q = 0,99$.

В особых случаях, например при измерениях, результаты которых имеют значение для здоровья людей, допустимо вместо $Q = 0,99$ принимать более высокую доверительную вероятность [5].

Коэффициент деградации есть отношение прочностных характеристик элементов каркаса купола после эксплуатации или длительного хранения к исходному значению, принятому при проектировании парашюта

$$\eta = \frac{P_{разр}}{P_{разр}^*}, \quad (4)$$

где $P_{разр}^*$ – исходная разрушающая нагрузка, принятая при проектировании,

$P_{разр}$ – разрушающая нагрузка, после длительного хранения или эксплуатации.

2. Результаты статистической обработки данных испытаний строп и ткани купола до разрушения

Испытано в сумме 54 образца из строп десантного парашюта Д-5 серии 2 по 6 образцов каждой стропы, которые были выбраны по всему периметру купола с одинаковым шагом. Образцы вырезали у кромки купола, в середине и конце стропы у дуговых пряжек. Аналогично испытано по 48 образцов из строп запасного 3-5 и спасательного С-5К серии 2 парашютов. Стропы изготовлены из шнура капронового с противостоигаемой пропиткой. Парашюты Д-5 и 3-5 имеют стропы из ШКП-150 с разрывной нагрузкой в исходном состоянии не менее 150 кгс, спасательный парашют С-5К – из ШКП-200 с разрывной нагрузкой не менее 200 кгс.

Ткань купола парашюта Д-5 серии 2 56009П с разрывной нагрузкой стандартного образца шириной 50 мм составляет по основе 50 кгс, по утку 48 кгс.

Ткань купола парашюта 3-5 56011АП имеет разрывную нагрузку стандартного образца шириной 50 мм не менее по основе 29 кгс, по утку 28 кгс, ткань 56011П имеет разрывную нагрузку не менее 25 кгс и 22 кгс, соответственно.

Купол парашюта С-5К серии 2 изготовлен из капроновых тканей 56002П и 56002КрП с разрывной нагрузкой стандартного образца не менее 43 кгс по основе и по утку. Вдоль кромки купола в месте крепления строп использована капроновая каландрированная ткань 56011АП.

Образцы из тканей куполов вырезали из полотнищ в радиальном направлении от вершины до кромки купола. Для каждого полотнища испытано в среднем 5 образцов по основе и 5 по утку.

В таблицах ниже представлены результаты испытаний образцов строп и купола до разрушения, указана разрывная нагрузка для каждого образца P_i , i – номер образца, вырезанного из конкретной стропы или полотнища купола. Проведена статистическая обработка, определены средняя разрушающая нагрузка, среднеквадратичное отклонение, минимальная допустимая нагрузка, соответствующая доверительной вероятности Q , и коэффициенты деградации элементов силовой конструкции куполов после эксплуатации или длительного хранения.

Применительно к парашюту Д-5 серии 2 расчеты разрушающих нагрузок и коэффициентов деградации прочности проведены для двух доверительных вероятностей $Q = 0,95$ и $Q = 0,99$. Квантили распределения Стьюдента при 6 испытанных образцах из каждой стропы составляют для доверительной вероятности $Q = 0,95$ значение 2,571, а для $Q = 0,99$ значение 4,032.

2.1. Десантный парашют Д-5 серии 2

Результаты расчетов, представленных в таблице 1, позволяют отметить, что при вероятности $Q = 0,95$ для 7 строп из испытанных 9 минимальные разрывные нагрузки наиболее слабых образцов превышают $P_{разр}$, что противоречит смыслу $P_{разр}$. Ни для одного из испытанных образцов критерий Граббса не превышен. Грубых «выбросов» нет.

Принимаем $Q = 0,99$. В этом случае обеспечиваем разумный запас прочности. Величины $P_{разр}$ приближаются к минимальным разрывным нагрузкам, но ни в одном из испытанных 54 образцов не превышают их. Наибольшее отличие разрушающей нагрузки при вероятностях $Q = 0,95$ и $Q = 0,99$ не превосходит 3 – 4 кгс. С повышением уровня надежности минимальная разрушающая нагрузка понижается (3). При более высокой доверительной вероятности имеем избыточный запас по минимальной разрывной нагрузке.

Зависимость прочности образцов от их расположения по длине стропы не установлена. Прочность узлов крепления строп к дуговой пряжке соответствует прочности стропы.

Минимальная величина коэффициента деградации равна 0,514 при среднем значении 0,558.

Результаты испытаний образцов из ткани купола парашюта Д-5 серии 2, вырезанных по основе и утку, приведены в таблицах 2 и 3. В этих таблицах указаны координаты от вершины в радиальном направлении R в миллиметрах участков ткани (проб), из которых изготовлены образцы. Из каждой пробы вырезано по 5 образцов, всего проб 7 по основе и 6 по утку. Нечетными цифрами обозначены пробы по основе, четными по утку.

Таблица 1
Результаты статистической обработки данных испытаний строп до разрушения парашюта Д-5 серии 2

| № Стропы | 1 | 5 | 8 | 11 | 14 | 17 | 20 | 23 | 26 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P_1 , кгс | 86 | 100 | 86 | 84 | 86 | 90 | 88 | 85 | 105 |
| P_2 , кгс | 87 | 110 | 92 | 100 | 87 | 104 | 92 | 92 | 97 |
| P_3 , кгс | 82 | 99 | 96 | 96 | 90 | 98 | 97 | 88 | 91 |
| P_4 , кгс | 95 | 92 | 86 | 94 | 88 | 92 | 90 | 93 | 95 |
| P_5 , кгс | 87 | 93 | 98 | 91 | 91 | 93 | 82 | 93 | 98 |
| P_6 , кгс | 80 | 100 | 87 | 78 | 89 | 94 | 92 | 90 | 97 |
| $P_{ср}$, кгс | 86,17 | 99 | 90,83 | 90,5 | 88,5 | 95,17 | 90,17 | 90,17 | 97,17 |
| S , кгс | 5,193 | 6,45 | 5,307 | 8,142 | 1,871 | 5,076 | 4,997 | 3,189 | 4,579 |
| $P_{разр}, 0,95$ | 80,72 | 92,23 | 85,26 | 81,95 | 86,54 | 89,84 | 84,92 | 86,82 | 92,36 |
| η | 0,538 | 0,615 | 0,568 | 0,546 | 0,577 | 0,599 | 0,566 | 0,579 | 0,616 |
| $P_{разр}, 0,99$ | 77,62 | 88,38 | 82,1 | 77,1 | 85,42 | 86,81 | 81,94 | 84,92 | 89,63 |
| η | 0,517 | 0,589 | 0,547 | 0,514 | 0,569 | 0,579 | 0,546 | 0,566 | 0,598 |

$$P_{разр}^* = 150 \text{ кгс}, \quad \eta_{ср} = 0,558$$

Разрушающая нагрузка вычислена для каждого образца и соответствует доверительной вероятности $Q = 0,99$. Во всех случаях близка к минимальной разрывной нагрузке конкретной пробы, но не превышает ее.

Минимальная величина коэффициента деградации прочности ткани по основе равна 0,507 при

среднем значении 0,55. Эта минимальная величина соответствует $R = 840$ мм, что может быть объяснено завышенным значением среднеквадратичного отклонения при практически равной средней разрывной нагрузке. Далее ближайшей по снижению прочности является проба с координатой $y = 2700$ мм с коэффициентом деградации 0,519.

Таблица 2

Результаты испытаний ткани купола парашюта Д-5 серии 2 до разрушения.
Образцы вырезаны по основе

| № пробы | 1 R=0 | 3 R=0 | 5 R=840 | 7 R=1850 | 9 R=2700 | 11 R=3790 | 13 R=4610 |
|------------------|----------|----------|------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| P_1 , кгс | 30,5 | 29 | 32 | 30,5 | 29 | 31,2 | 33,2 |
| P_2 , кгс | 35 | 28,7 | 32 | 29 | 30,5 | 30 | 34 |
| P_3 , кгс | 33,5 | 29,5 | 32,5 | 27,5 | 31,3 | 32,4 | 32 |
| P_4 , кгс | 33 | 29,5 | 31 | 30 | 29 | 31,5 | 31,5 |
| P_5 , кгс | 30,5 | 29 | 25,5 | 32 | 26,5 | 29 | 29 |
| $P_{ср}$, кгс | 32,5 | 29,14 | 30,6 | 29,8 | 29,26 | 30,82 | 31,94 |
| S , кгс | 1,969 | 0,351 | 2,903 | 1,681 | 1,834 | 1,331 | 1,915 |
| $P_{раз}$, 0,99 | 28,95 | 28,51 | 25,37 | 26,77 | 25,95 | 28,42 | 28,49 |
| η | 0,579 | 0,57 | 0,507 | 0,535 | 0,519 | 0,568 | 0,57 |

$$\eta_{ср} = 0,55$$

Таблица 3

Результаты испытаний ткани купола парашюта Д-5 серии 2 до разрушения.
Образцы вырезаны по утку

| № пробы | 2 R=0 | 6 R=840 | 8 R=1850 | 10 R=2700 | 12 R=3790 | 14 R=4610 |
|------------------|----------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| P_1 , кгс | 36 | 31,5 | 30,5 | 30,5 | 36,8 | 37,5 |
| P_2 , кгс | 34,5 | 32,4 | 30,5 | 25 | 39 | 31 |
| P_3 , кгс | 34 | 29,5 | 28,5 | 27 | 34,2 | 38,3 |
| P_4 , кгс | 31 | 30,5 | 34 | 27,5 | 34 | 34,2 |
| P_5 , кгс | 30 | 27,3 | - | 27,5 | 32,5 | 36 |
| $P_{ср}$, кгс | 33,1 | 30,24 | 30,88 | 27,5 | 35,3 | 35,4 |
| S , кгс | 2,51 | 1,969 | 2,287 | 1,969 | 2,583 | 2,915 |
| $P_{раз}$, 0,99 | 28,57 | 26,69 | 26,26 | 23,95 | 30,64 | 30,14 |
| η | 0,595 | 0,556 | 0,547 | 0,5 | 0,638 | 0,628 |

$$\eta_{ср} = 0,577$$

Значения среднеквадратичного отклонения прочности образцов, вырезанных по утку превышают аналогичные по основе для проб с одинаковыми координатами, что приводит к снижению расчетной разрушающей нагрузки. Это можно объяснить влиянием схемы вырезки образцов. Наибольшее снижение прочности имеет место для пробы с координатой $R = 2700$ мм, минимальный коэффициент деградации прочности равен 0,5 при среднем значении 0,577.

2.2. Запасной парашют 3-5

Проведены испытания для 8 строп по 6 образцов каждой, табл. 4. Согласно критерия Граббса грубых погрешностей ни по максимальной, ни по минимальной зарегистрированным нагрузкам нет. Наибольшие значения среднеквадратического отклонения отмечены по стропам 10 и 12, средние значения разрывной нагрузки для этих строп соответствуют статистическим для всех строп.

Минимальное значение коэффициента деградации для строп парашюта 3-5 равно 0,567 при среднем значении 0,596.

Таблица 4

Результаты испытаний строп до разрушения парашюта 3-5

| № Стропы | 1 | 4 | 7 | 10 | 12 | 17 | 20 | 23 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P ₁ , кгс | 93 | 97 | 94 | 104,5 | 105,2 | 89,5 | 91,5 | 93 |
| P ₂ , кгс | 103 | 98 | 95,5 | 90 | 98 | 96 | 94 | 99 |
| P ₃ , кгс | 97 | 93 | 96 | 105 | 85 | 97 | 102 | 95 |
| P ₄ , кгс | 98 | 97 | 93 | 89,5 | 95 | 90 | 100 | 96 |
| P ₅ , кгс | 95 | 93,5 | 102 | 97 | 97 | 96,5 | 97 | 98 |
| P ₆ , кгс | 99 | 98 | 96,5 | 93 | 96 | 90 | 94 | 101 |
| P _{ср} , кгс | 97,5 | 96,08 | 96,17 | 96,5 | 96,03 | 93,17 | 96,42 | 97 |
| S, кгс | 3,45 | 2,245 | 3,141 | 6,928 | 6,506 | 3,67 | 4,005 | 2,898 |
| P _{раз} , 0,99 | 91,82 | 92,39 | 91 | 85,1 | 85,32 | 87,13 | 89,82 | 92,23 |
| η | 0,612 | 0,616 | 0,607 | 0,567 | 0,569 | 0,581 | 0,599 | 0,615 |

$$P_{\text{раз}}^* = 150 \text{ кгс}, \quad \eta_{\text{ср}} = 0,596$$

Проба 1 соответствует району полюсного отверстия, проба 5 – кромке купола (табл. 5). После длительной эксплуатации и хранения парашюта средние значения разрывной нагрузки для полотнищ купола парашюта 3-5 принадлежат одной статистической совокупности, большая величина среднеквадратического отклонения соответствует пробе 1 в районе полюсного отверстия. Минимальное значение коэффициента деградации равно 0,532.

Таблица 5

Результаты испытаний ткани купола парашюта 3-5 до разрушения. Образцы вырезаны по основе

| № пробы | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P ₁ , кгс | 19 | 18 | 20 | 21 | 18,8 |
| P ₂ , кгс | 21 | 19,8 | 22 | 21 | 18,3 |
| P ₃ , кгс | 21 | 20 | 21 | 22,5 | 22,1 |
| P ₄ , кгс | 22 | 18 | 20,6 | 17,5 | 22,3 |
| P ₅ , кгс | 23,5 | 16,2 | 21 | 18,5 | 17 |
| P _{ср} , кгс | 21,3 | 18,4 | 20,92 | 20,1 | 19,7 |
| S, кгс | 1,643 | 1,556 | 0,729 | 2,043 | 2,376 |
| P _{раз} , 0,99 | 18,34 | 15,59 | 19,6 | 16,42 | 15,42 |
| η | 0,632 | 0,624 | 0,784 | 0,657 | 0,532 |

$$\eta_{\text{ср}} = 0,646$$

Таблица 6

Результаты испытаний ткани купола парашюта 3-5 до разрушения. Образцы вырезаны по утку

| № пробы | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P ₁ , кгс | 17,3 | 16,5 | 17 | 12,5 | 18 |
| P ₂ , кгс | 18,8 | 17,5 | 16,8 | 16,5 | 19 |
| P ₃ , кгс | 16 | 18 | 18,9 | 17,3 | 17,8 |
| P ₄ , кгс | 17,7 | 17,3 | 16 | 19,3 | 18,2 |
| P ₅ , кгс | 18 | 17,3 | 20 | 18 | 15,3 |
| P _{ср} , кгс | 17,56 | 17,32 | 17,74 | 16,72 | 17,66 |
| S, кгс | 1,031 | 0,54 | 1,652 | 2,573 | 1,396 |
| P _{раз} , 0,99 | 15,7 | 16,35 | 14,76 | 12,08 | 15,14 |
| η | 0,561 | 0,743 | 0,671 | 0,549 | 0,541 |

$$\eta_{\text{ср}} = 0,613$$

Минимальное значение коэффициента деградации равно 0,541 (табл. 6).

2.3. Спасательный парашют С-5К серии 2

Согласно критерия Граббса грубых погрешностей ни по максимальной, ни по минимальной зарегистрированным нагрузкам нет, табл. 7. Наибольшие значения среднеквадратического отклонения отмечены по стропам 3 и 17.

Минимальное значение коэффициента деградации для строп парашюта С-5К серии 2 равно 0,647 при среднем значении 0,676.

Таблица 7

Результаты испытаний строп парашюта С-5К серии 2 до разрушения

| № Стропы | 3 | 7 | 10 | 14 | 17 | 21 | 24 | 28 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P ₁ , кгс | 144 | 137 | 149 | 165 | 144 | 160 | 144 | 153 |
| P ₂ , кгс | 152 | 147 | 147 | 145 | 162 | 156 | 144 | 160 |
| P ₃ , кгс | 143 | 155 | 151 | 143 | 134 | 143 | 143 | 142 |
| P ₄ , кгс | 166 | 139 | 157 | 156 | 142 | 142 | 160 | 163 |
| P ₅ , кгс | 136 | 137 | 157 | 140 | 154 | 144 | 156 | 148 |
| P ₆ , кгс | 170 | 155 | 156 | 157 | 166 | 138 | 149 | 152 |
| P _{ср} , кгс | 151,8 | 145 | 152,8 | 151 | 150,3 | 147,2 | 149,3 | 153 |
| S, кгс | 13,57 | 8,58 | 4,40 | 9,78 | 12,42 | 8,73 | 7,15 | 7,69 |
| P _{раз} , 0,99 | 129,5 | 130,9 | 145,6 | 134,9 | 129,9 | 132,8 | 137,6 | 140,3 |
| η | 0,647 | 0,654 | 0,728 | 0,675 | 0,649 | 0,664 | 0,688 | 0,702 |

$$P_{\text{раз}}^* = 200 \text{ кгс}, \quad \eta_{\text{ср}} = 0,676$$

Нумерация клиньев ткани купола соответствует техническому описанию парашюта С-5К серии 2. Клинь 4 расположен у полюсного отверстия, далее к кромке.

По ткани 56002 значения коэффициента деградации превышают 1, табл. 8. Это означает, что деградация прочности для этих тканей спасательного парашюта отсутствует. Ткани 56002П и 56002КрП имеют в исходном состоянии разрывную нагрузку по основе и по утку не менее $P_{\text{раз}}^* = 43$ кгс. Бли-

зость разрушающих нагрузок, принятых при проектировании 43 кгс, и минимальной на разрыв после длительного хранения по данным испытаний 45 кгс, свидетельствует о надежности метода испытаний.

Ткань 56011АП имеет разрывную нагрузку по основе $P_{\text{раз}}^* = 29$ кгс, по утку $P_{\text{раз}}^* = 28$ кгс. Коэффициент деградации каландрированной ткани 56011АП составил 0,728.

Таблица 8

Результаты испытаний ткани купола парашюта С-5К серии 2 до разрушения.

Образцы вырезаны по основе

| № Клинь, ткань | 4, 56002П | 3, 56002КрП | 2, 56002П | 1, 56002КрП | кромка у строп 56011АП |
|-------------------------|--------------|----------------|--------------|----------------|---------------------------|
| P ₁ , кг | 51 | 50 | 50,2 | 49,5 | 27 |
| P ₂ , кг | 48 | 48,5 | 47 | 49 | 25 |
| P ₃ , кг | 49 | 51,5 | 50 | 50 | 24 |
| P ₄ , кг | 51 | 50,5 | 48 | 48 | 30 |
| P ₅ , кг | 47,5 | 52 | 50,2 | 49 | 31 |
| P _{ср} , кг | 49,3 | 50,5 | 49,08 | 49,1 | 27,4 |
| S | 1,643 | 1,369 | 1,487 | 0,742 | 3,05 |
| P _{раз} , 0,99 | 45,92 | 47,68 | 45,02 | 47,57 | 21,12 |
| η | 1,068 | 1,109 | 1,07 | 1,106 | 0,728 |

$$P_{\text{раз}}^* = 43 \text{ кгс}, \quad \eta_{\text{ср}} = 1,088$$

Таблица 9

Результаты испытаний ткани купола парашюта С-5К серии 2 до разрушения.
Образцы вырезаны по утку

| № Клинь, ткань | 4, 56002П | 3, 56002КрП | 2, 56002П | 1, 56002КрП | кромка у строп 56011АП |
|-------------------------|--------------|----------------|--------------|----------------|---------------------------|
| P ₁ , кг | 44,5 | 45 | 38,5 | 43 | 29 |
| P ₂ , кг | 47,5 | 46 | 40 | 49 | 26 |
| P ₃ , кг | 45,5 | 43 | 45 | 48 | 26,5 |
| P ₄ , кг | 48,5 | 43 | 46,5 | 40,5 | 24,5 |
| P ₅ , кг | - | 45 | - | 42 | 23 |
| P _{ср} , кг | 46,5 | 44,4 | 42,5 | 44,5 | 25,8 |
| S | 1,826 | 1,342 | 3,851 | 3,775 | 2,253 |
| P _{раз} , 0,99 | 41,17 | 41,64 | 31,25 | 36,73 | 21,16 |
| η | 0,957 | 0,968 | 0,727 | 0,854 | 0,756 |

$$P_{\text{раз}}^* = 43 \text{ кгс}, \quad \eta_{\text{ср}} = 0,877$$

По утку отмечена деградация прочности, по ткани 56002 минимальное значение $\eta = 0,727$, среднее $\eta_{\text{ср}} = 0,877$. Ткань 56011АП у кромки купола имеет $\eta = 0,756$ (табл. 9).

3. Анализ результатов испытаний

Минимальные η_{min} и средние $\eta_{\text{ср}}$ коэффициенты деградации прочности силовых элементов каркаса куполов трех парашютов представлены в сводной таблице 10.

Сопоставление η_{min} и $\eta_{\text{ср}}$ позволяет заключить, что они достаточно близки, принадлежат одной статистической совокупности, грубые «выбросы» результатов прочностных испытаний отсутствуют. Величина η_{min} характеризует минимальное значение прочности элементов силовой конструк-

ции в соответствии с (3) и коэффициентом надежности $Q = 0,99$.

Гарантированный разработчиком парашютов срок эксплуатации или длительного хранения составляет 20 лет без ограничений по условиям применения. Если считать, что деградация прочностных характеристик элементов каркаса купола в течение этого срока не существенна, можно оценить по совокупности проведенных испытаний зависимость изменения коэффициента η при увеличении срока службы.

На рис. 1 представлены данные о минимальных значениях коэффициентов деградации, приведенных в таблице 10, в зависимости от срока службы X. Не введены отличия по типам парашютов, условиям их применения, материалам элементов каркаса. Тем не менее, данные принадлежат одной статистической совокупности. Коэффициенты деградации прочности строп и ткани купола достаточно близки.

Таблица 10

Минимальные и средние коэффициенты деградации прочности парашютов после длительной эксплуатации или хранения

| Парашют | Десантный Д-5 серии 2, 36 лет после выпуска | | | Запасной 3-5, 35 лет после выпуска | | | Спасательный С-5К серии 2, 30 лет после выпуска | | | | |
|---------------------|--|--------------|---------|---------------------------------------|--------------|---------|--|--------------|-----------|---------|-------|
| | Стропы | Ткань купола | | Стропы | Ткань купола | | Стропы | Ткань купола | | | |
| | | по основе | по утку | | по основе | по утку | | 56002П | | 56011АП | |
| Элемент конструкции | | | | | | | по основе | по утку | по основе | по утку | |
| $\eta_{\text{ср}}$ | 0,558 | 0,55 | 0,577 | 0,596 | 0,646 | 0,613 | 0,676 | 1 | 0,877 | | |
| η_{min} | 0,514 | 0,507 | 0,5 | 0,567 | 0,532 | 0,541 | 0,647 | 1 | 0,727 | 0,728 | 0,756 |

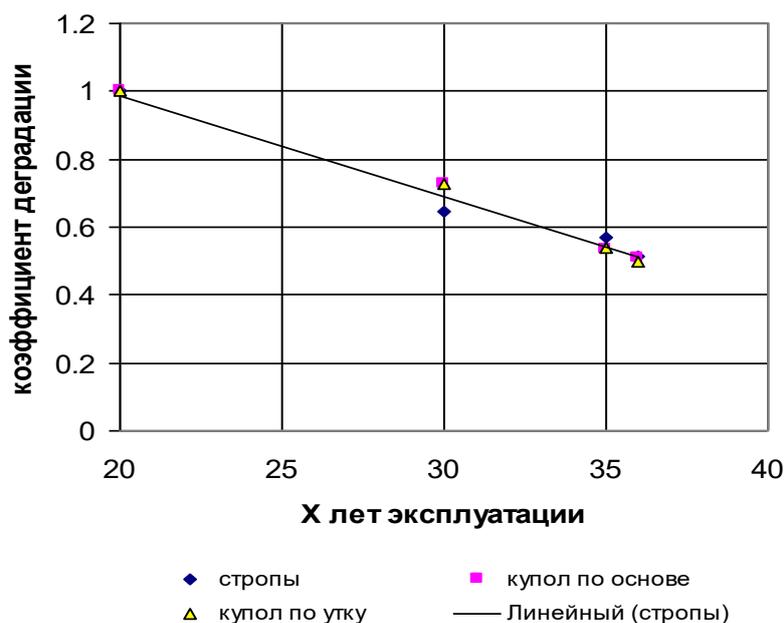


Рис. 1. Зависимость коэффициента деградации прочности парашюта от срока службы в годах

И если рассматривать задачу продления сроков службы, рационально проводить прочностные испытания строп, замена которых существенно более проста, чем вырезать образцы из ткани купола и потом его ремонтировать.

Десантный парашют Д-5 серии 2 выработал свой ресурс по допустимому числу прыжков, запасной 3-5 использовали в ограниченном объеме для тренировки раскрытия при наполненном основном куполе, спасательный С-5К серии 2 не применяли по своему назначению. Данные, приведенные на рис. 1, требуют дополнения в зависимости не только от срока службы, но и числа прыжков и, возможно, переукладок. Сплошная линия, приведенная на рис. 1 соответствует уравнению

$$\eta = 1 - 0,03 (X - 20). \quad (5)$$

Линейность зависимости прочности на разрыв от числа лет эксплуатации парашютов отмечена еще в работе австралийских специалистов [6] для парашюта Т-10, материал нейлон. Линейность этой прочностной характеристики означает и линейность коэффициентов деградации. Интересно отметить, что в соответствии с данными [6, рис. 1] для нейлона при 30 годах эксплуатации коэффициент деградации составит $\eta = 0,707$, а по формуле (5) для капрона $\eta = 0,7$.

При подтверждении или уточнении полученных данных возникает возможность прогнозировать величину коэффициента деградации прочности в зависимости от срока службы и по этому коэффициенту находить максимально допустимую скорость десантирования [3].

Выводы

1. Изложена методика обработки результатов прочностных испытаний силовых элементов каркаса купола парашюта на примере строп и ткани по основе и по утку с учетом нормального распределения прочностных характеристик.

2. Получены минимальные значения коэффициентов деградации прочности для парашютов десантного Д-5 серии 2, запасного 3-5 и спасательного С-5К серии 2.

3. Отмечена линейность зависимости коэффициентов деградации прочности от срока службы парашюта.

4. Зависимость коэффициента деградации от срока службы позволяет прогнозировать максимально допустимую скорость десантирования при решении вопроса о продлении ресурса парашюта.

Литература

1. Лобанов, Н. А. Основы расчета и конструирования парашютов [Текст] / Н. А. Лобанов. – М. : Машиностроение, 1965. – 363 с.

2. Фомичев, П. А. Установление ограничений по максимальным скоростям десантирования с учетом деградации прочностных характеристик материалов купола парашюта. Сообщение 1. Зависимость прочности парашютов от деградации прочностных характеристик конструкционных материалов [Текст] / П. А. Фомичев // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2019. – №1 (153). – С. 65 – 71. DOI:10.32620/akt.2019.1.08.

3. Фомичев, П. А. Установление ограничений по максимальным скоростям десантирования с учетом деградации прочностных характеристик материалов купола парашюта. Сообщение 2. Зависимость максимальных скоростей десантирования от деградации прочности [Текст] / П. А. Фомичев // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2019. – № 2 (154). – С. 61 – 68. DOI:10.32620/akt.2019.2.08.

4. Фомичев, П. А. Закон распределения разрушающих нагрузок элементов каркаса купола парашюта [Текст] / П. А. Фомичев, И. М. Сила // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2019. – № 4 (156). – С. 73 – 79. doi:10.32620/akt.2019.4.12.

5. ГОСТ Р 8. 736-2011. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2013. – 20 с.

6. Egglestone, G. T. Age life prediction of nylon 66 parachute materials. Part -1. Mechanical properties. Department of defence. Defence science and technology organization. Materials research laboratories [Text] / G. T. Egglestone, G. A. George. – Melbourne : Victoria, 1984. – 31 p.

2. Fomichev, P. A. Ustanovlenie ogranicheniy po maksimal'nykh skorostyam desantirovaniya s uchetom degradatsii prochnostnykh kharakteristik materialov kupola parashyuta. Soobshchenie 1. Zavisimost' prochnosti parashyutov ot degradatsii prochnostnykh kharakteristik konstruktivnykh materialov [Estimation of the ultimate landing speeds taking into account the degradation of the strength characteristics of parachute dome materials. Part 1. Dependence the parachute durability on degradation of the construction materials strength characteristics]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2019, no. 1 (153), pp. 65-71. DOI:10.32620/akt.2019.1.08.

3. Fomichev, P. A. Ustanovlenie ogranicheniy po maksimal'nykh skorostyam desantirovaniya s uchetom degradatsii prochnostnykh kharakteristik materialov kupola parashyuta. Soobshchenie 2. Zavisimost' maksimal'nykh skorostey desantirovaniya ot degradatsii prochnosti [Estimation of the ultimate landing speeds taking into account the degradation of the strength characteristics of parachute dome materials. Part 2. Dependence of the ultimate landing speeds on the strength degradation]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia - Aerospace technic and technology*, 2019, no. 2 (154), pp. 61-68. DOI:10.32620/akt.2019.2.08.

4. Fomichev, P. A., Sila, I. M. Zakon raspredeleniya razrushayushchikh nagruzok elementov karkasa kupola parashyuta [Law of destructive loads distribution of the of parachute canopy's carcass elements]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2019, no. 4 (156), pp.73 – 79. DOI:10.32620/akt.2019.4.12.

5. GOST R 8. 736-2011. Izmereniya pryamyie mnogokratnye. Metody obrabotki rezul'tatov izmereniy [Direct multiple measurements. Methods of processing measurement results]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 2013. 20 p.

6. Egglestone, G. T., George, G. A. Age life prediction of nylon 66 parachute materials. Part - 1. Mechanical properties. Department of defence. Defence science and technology organization. Materials research laboratories. Melbourne, Victoria Publ., 1984. 31 p.

References

1. Lobanov, N. A. *Osnovy rascheta i konstruirovaniya parashyutov* [The basics of calculating and designing parachutes]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1965. 363 p.

Поступила в редакцию 15.09.2019, рассмотрена на редколлегии 14.10.2019

КОЕФІЦІЄНТИ ДЕГРАДАЦІЇ МІЦНОСТІ СИЛОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ КУПОЛА ПАРАШУТА ПІСЛЯ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АБО ЗБЕРІГАННЯ

П. О. Фомичев, І. М. Сила

Викладено методику обробки результатів випробувань до руйнування зразків, вирізаних із строп і тканини купола після тривалої експлуатації або зберігання парашюта. Прийнято нормальний закон розподілу навантажень до руйнування. Мінімальне руйнівне навантаження запропоновано знаходити як нижню довірчу границю в залежності від числа випробуваних зразків і довірчої ймовірності 0,99.

Представлені результати випробувань на міцність зразків з парашутів десантного Д-5 серія 2 1983 р., запасного З-5 1984 р., рятувального С-5К серія 2 1989 року випуску. В цілому випробуваний 301 зразок, включаючи 54 зразка з строп Д-5, по 48 зразків з строп З-5 і С-5К, зразки з тканин куполів по основі і утку.

Зразки зі строп вирізали у кромки купола, в середині, у дугових пряжок. Зразки з тканин вирізали в радіальному напрямку від вершини до кромки купола. Залежність міцності від розташування зразків по довжині стропа або полотнища купола не встановлена. Грубі похибки в випробуваннях за критерієм Граббса відсутні.

Визначено коефіцієнти деградації міцності строп і тканин куполів, як відношення руйнівного навантаження після тривалої експлуатації або зберігання до початкових значень, прийнятим при проектуванні. Відзначено близькість коефіцієнтів деградації строп і тканин куполів. За сукупністю результатів випробувань з метою отримання мінімальних значень коефіцієнтів деградації встановлена лінійна залежність від терміну служби парашута. Цей термін слід відраховувати від року виготовлення парашута.

Залежність мінімальних коефіцієнтів деградації (максимальної деградації) від терміну служби дає можливість оцінити падіння міцності силових елементів конструкції зі збільшенням терміну служби. Ця залежність дозволяє прогнозувати максимальну допустиму швидкість десантування при вирішенні питання про продовження терміну служби парашута.

Ключові слова: міцність; руйнівне навантаження; закон розподілу; коефіцієнт деградації; термін служби.

STRENGTH DEGRADATION COEFFICIENTS OF THE POWER ELEMENTS OF THE PARACHUTE CANOPY AFTER PROLONGED USE OR STORAGE

P. A. Fomichev, I. M. Sila

The technique of processing the test results to the destruction of samples cut from slings and dome fabric after prolonged use or storage of the parachute is described. The normal law of load distribution before failure is adopted. It is proposed to find the minimum breaking load as the lower confidence limit depending on the number of tested samples and a confidence probability of 0.99.

The results of strength tests of samples from the parachutes of the landing D-5 series 2 of 1983, the spare Z-5 of 1984, and the rescue S-5K series 2 of 1989 are presented. A total of 301 samples were tested, including 54 samples from slings D-5, 48 samples from slings Z-5 and S-5K, samples from fabrics of domes on the base and weft. Samples from slings were cut out at the edge of the dome, in the middle, at the arc buckles.

Fabric samples were cut radially from the top to the edge of the dome. The dependence of the strength characteristics on the location of the samples along the length of the slings or the dome panel has not been established. There are no gross errors in the tests according to the Grubbs criterion.

The strength degradation coefficients of the slings and fabrics of the domes are determined as the ratio of the breaking load after long-term operation or storage to the initial values adopted during the design. The proximity of the degradation coefficients of slings and dome fabrics was noted. Based on the set of test results in order to obtain the minimum values of the degradation coefficients, a linear dependence on the life of the parachute is established. This period should be counted from the year the parachute was made.

The dependence of the minimum degradation coefficients (maximum degradation) on the service life makes it possible to assess the drop in the strength characteristics of the structural elements with increasing service life. This dependence allows you to predict the maximum allowable landing speed when deciding on the extension of the life of the parachute.

Keywords: strength; breaking load; distribution law; degradation coefficient; service life.

Фомичев Петр Александрович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. прочности летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Сила Игорь Михайлович – начальник научно-исследовательского отдела испытаний вооружения и военной (специальной) техники Десантно-штурмовых войск и Сил специальных операций Государственного научно-исследовательского института испытаний и сертификации вооружения и военной техники, Чернигов, Украина.

Fomichev Petr Alexandrovych – Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department of Aircraft Strength, National Aerospace University “Kharkov Aviation Institute”, Kharkov, Ukraine, e-mail: nil_prochnost@khai.edu.

Sila Igor Mikhailovich - Head of the Research Department for Testing Weapons and Military (Special) Equipment of the Airborne Assault Troops and the Special Operations Forces of the State Research Institute for Testing and Certification of Weapons and Military Equipment, Chernigov, Ukraine, e-mail: desant1988@ukr.net.