



ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННЫХ БАЛЛОНОВ

Э. Ф. ГАРФ, П. С. ЮХИМЕЦ, В. А. НЕХОТЯЩИЙ, В. И. ЧЕПИЖЕНКО

Представлены результаты испытаний 25 типов баллонов, используемых в течение определенного времени для жизнеобеспечения летательных аппаратов. Циклические испытания проведены на базе 10^4 циклов нагружения для двух баллонов каждого типа. Статические испытания проведены на трех баллонах каждого типа и баллонах, успешно выдержавших циклические испытания. Статистический анализ результатов испытаний подтверждает возможность перевода рассмотренных типов баллонов в категорию со сроком эксплуатации более 30 лет.

The paper gives the results of testing 25 types of cylinders used for a certain period to ensure the survival of flying vehicles. Cyclic testing was conducted at 10^4 loading cycles for two cylinders of each type. Static testing was conducted on three cylinders of each type, and cylinders, which successfully passed cyclic testing. Statistic analysis of testing results confirms the possibility of moving the considered cylinders into more than 30 year operation category.

Для поддержания необходимого уровня технической исправности авиационной техники необходимы как проведение регламентированных восстановительных работ, так и исследования с целью продления ресурса эксплуатации летательных аппаратов. Решая один из аспектов этой проблемы, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ совместно с ОКТБ Института и Государственным НИИ авиации исследовал возможность продолжения назначенного срока службы авиационных баллонов.

Как известно, на каждом летательном аппарате имеются баллоны высокого давления, обеспечивающие работу различных механизмов, агрегатов и систем обеспечения жизнедеятельности экипажа. Плановый срок эксплуатации баллонов, как правило, связан с проектным сроком службы летательного аппарата. Вместе с тем, есть все основания предполагать, что если и имеется такая взаимосвязь, она не является определяющей для назначения срока эксплуатации баллонов. Кроме того, продление ресурса эксплуатации летательных аппаратов требует обоснования возможности продления назначенного срока службы авиационных баллонов. В этой связи представляет интерес задача оценки технического состояния баллонов после определенного срока эксплуатации и прогнозирование остаточного ресурса их безопасной эксплуатации. Задача решалась применительно к 25 типам баллонов, отличающихся объемом, рабочим давлением, средой наполнения, конструкцией и материалами, из которых они изготовлены (табл. 1).

Методика проведения исследований включала отбор по каждому типу пяти баллонов со сроком эксплуатации, приближающимся или превышающим назначенный срок службы. При этом отобранные для испытаний баллоны одного типа могли иметь и разный срок эксплуатации. На испытание баллоны поступали после внешнего и внутреннего осмотра, а также неразрушающего контроля (НК) качества сварных соединений в сварных баллонах. Основным критерием оценки технического состо-

яния баллонов после их длительной эксплуатации являлись результаты их испытаний внутренним давлением.

Собственно испытания проводили в следующей последовательности. Вначале отбирали два баллона каждого типа для проведения циклических испытаний. Критерием отбора служили худшие показатели по результатам внутреннего и внешнего осмотра, а также по контролю качества сварных соединений. Перед началом циклических испытаний каждый баллон нагружали пробным давлением равным $1,5P_p$, где P_p — рабочее давление для данного типа баллона. После выдержки в течение 10 мин давление снижали до P_p , и осуществляли внешний осмотр баллона. Циклические испытания внутренним давлением проводили на базе 10^4 циклов нагружением $0...P_p$. Баллоны, успешно прошедшие циклические испытания, вместе с баллонами, не подвергавшимся циклическим нагружениям, подвергали статическим испытаниям внутренним давлением до разрушения. Статические испытания баллонов проводили в два этапа. На первом этапе баллон нагружали до пробного давления, составляющего $1,5P_p$, и выдерживали в течение 10 мин, после чего давление снижалось до P_p и проводили внешний осмотр баллона. Затем давление повышали до разрушения баллона.

Результаты испытаний. Циклические нагружения вызвали разрушение двух баллонов. В одном из цилиндрических сварных баллонов типа Л29 после 8×10^3 циклов нагружений усталостная трещина в шве сварки горловины проникла на всю толщину, в результате чего была нарушена герметичность и испытания прекращены.

Второе разрушение имело место в одном из шаровых сварных баллонов армированных стеклопластиком (тип УБШ-2). Усталостная трещина образовалась в основном металле днища на участке наибольшего утонения при штамповке при $8,25 \times 10^4$ циклах нагружения проникла на всю толщину, в результате чего нарушилась герметичность и испытания прекращены.



Таблица 1. Технические характеристики исследуемых баллонов

№ п/п	Тип баллона	Конструкция	Материал	Рабочее давление P_p , МПа	Среда	Назначенный срок службы, лет	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм
1	Ш-2А	Шаровой бесшов.	Сталь 45	15,0	Кислород	25	110	2,5
2	Ш-2	Шаровой бесшов.	Сталь 45	15,0	Воздух	25	110	2,5
3	МА-4	Цилиндрический бесшовный	Сталь 45	15,0	Кислород	25	140	3,8
4	Л-29	Шаровой сварной	30ХГСА	15,0	Фреон	20	160	2,4
5	КБ-2	Цилиндрический сварной	12Х18Н10ТПМ	3,0	Кислород	20	140	1,6
6	ОРИ-2-20-30	Цилиндрический сварной	АМГ	3,0	Хладон	25	90	2,0
7	УБЦ 8-1	Цилиндр. сварной, арм. стеклопластом	X16Н16	15,0	Углекислота	18	194	3,0
8	УБШ25/150	Шаровой сварной	07Х5Н6	15,0	Кислород	20	370	3,8
9	1-2-3-210	Шаровой сварной, арм. стеклопластом	X16Н6Ш	21,0	Фреон	18	193	3,0
10	ОСУ-5	Цилиндр. бесшов., арм. проволокой	30ХГСА	17,0	Углекислота	15	172	3,7
11	ОС-2	Шаровой сварной	30ХГСА	12,5	Фреон	24	160	2,5
12	КБШ-У	Шаровой бесшовный	X16Н6	15,0	Кислород	21	160	3,2
13	УБШ-4/1	Шаровой сварной, арм. стеклопластом	X16Н6	15,0	Фреон	Нет информации	210	2,0
14	1-2-3-150	Шаровой сварной, арм. стеклопластом	X16Н6	15,0	Фреон	18	190	2,0
15	155-6110.5250.5	Шаровой сварной	30ХГСА	32,0	Азот	20	210	4,5
16	УБШ-3	Шаровой сварной, арм. стеклопластом	X16Н6Ш	21,0	Воздух	18	190	2,0
17	УБШ-2	Шаровой сварной, арм. стеклопластом	X16Н6	15,0	Фреон	26	170	1,5
18	5.12.7802.1100.00	Цилиндр. бесшов., арм. стеклопластом	30ХГСА	25,0	Кислород	20	90	2,2
19	Б-4,5800.0	Цилиндрический сварной	2842НВМБР	29,0	Азот	15	90	3,2
20	УБЦ.16	Цилиндр. сварной, арм. стеклопластом	X16Н6	15,0	Азот	21	240	3,5
21	П-9350-500	Цилиндрический бесшовный	Д1	17,0	Углекислота	Нет информации	48	3,5
22	2-11-5305.8060.00	Цилиндрический сварной	30ХГСА	6,0	Воздух	20	103	1,6
23	5.12.7607.8000.00	Цилиндр. бесшов., арм. стеклопластом	30ХГСА	25,0	Воздух	20	90	2,0
24	2-2-8-210	Цилиндр. сварной, арм. стеклопластом	X16Н6	21,0	Воздух	21	190	2,2
25	ОУ-2	Цилиндрический бесшовный	Сталь 45	15,0	Углекислота	15	110	4,5

Все остальные баллоны (48 шт.) выдержали циклические испытания пульсирующей нагрузкой до расчетного давления на базе 10^4 циклов нагружения.

В результате статических испытаний для каждого баллона было установлено давление, при котором имело место разрушение, и предельные напряжения в наиболее нагруженных элементах бал-

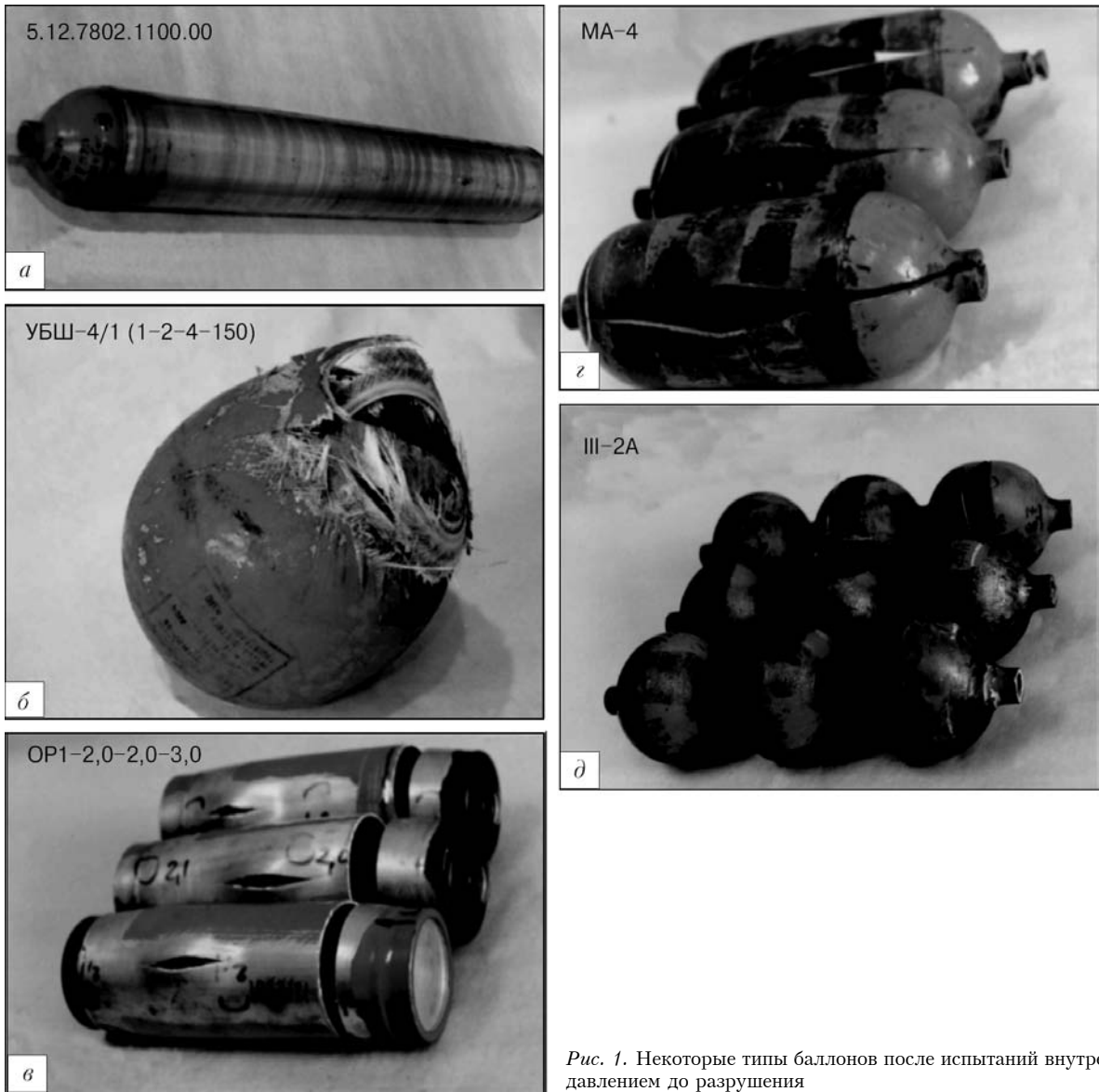


Рис. 1. Некоторые типы баллонов после испытаний внутренним давлением до разрушения

лонов [1]. Всего до разрушения испытано 123 баллона. На рис. 1 показаны ряд типов баллонов после гидравлических испытаний внутренним давлением до разрушения.

Анализ результатов испытаний. Результаты испытания пяти баллонов каждого типа, включая два баллона на циклические нагрузки, являются достаточно представительной выборкой, однако статистический анализ отдельно по каждому типу баллонов не позволяет прогнозировать их уровень безопасной эксплуатации. В этой связи необходимо при всем различии технических параметров баллонов установить критерий оценки прочности, который не будет зависеть от типа и технических параметров, что позволит рассматривать результаты испытаний всех типов баллонов как единую выборку.

Представляется, что таким критерием может являться запас прочности в каждом из баллонов, который характеризует отношение разрушающего давления к рабочему.

Анализ результатов из 123 значений коэффициентов запаса прочности свидетельствует о том,

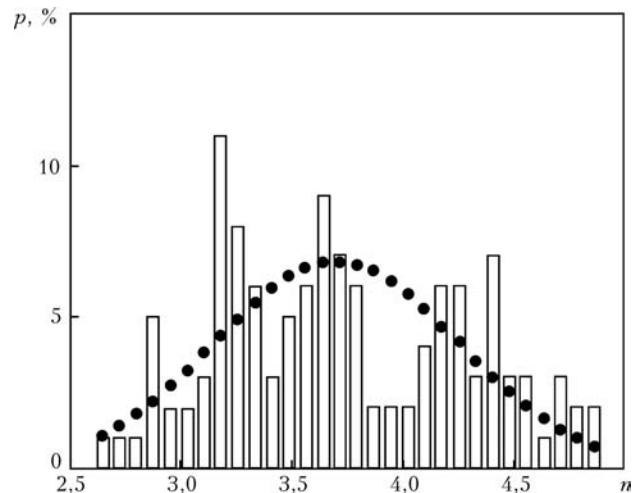


Рис. 2. Гистограмма и нормированное распределение коэффициента запаса прочности баллонов

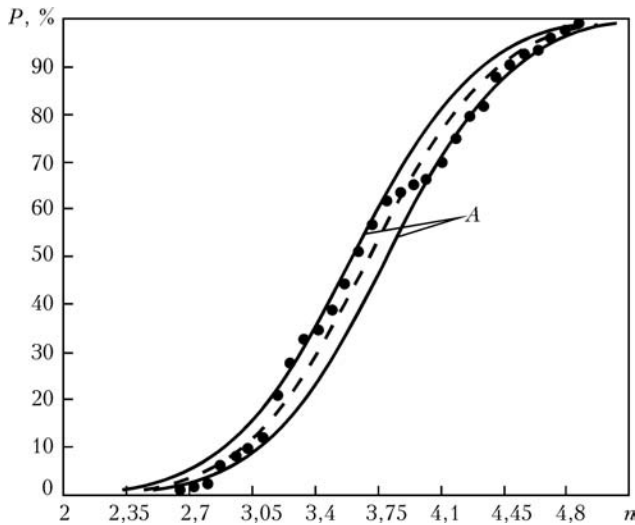


Рис. 3. Накопленная частота коэффициента запаса прочности баллонов (А – граница доверительного интервала)

что данная выборка соответствует нормальному закону распределения [2]. Об этом свидетельствует гистограмма и нормированное распределение коэффициента запаса прочности (рис. 2), а также накопленная частота полученных при испытаниях значений коэффициентов запаса прочности (рис. 3), отклонение которых от теоретической зависимости для нормального распределения укладывается в 95%-ный интервал вероятности. Статистическим анализом значений коэффициентов запаса прочности установлены параметры нормального распределения для выборки, которые составили: среднестатистическое значение коэффициента запаса прочности – $a = 3,695$; дисперсия – $s^2 = 0,305$; стандартное отклонение выборки – $s = 0,552$.

Диапазон значений коэффициента запаса прочности находится в пределах от 2,6 для баллонов типа 5.12.7607.8000.00 до 4,90 для баллонов типа КБ-2. Естественно, существует вероятность того, что в генеральной совокупности, включающей весь парк рассмотренных типов баллонов, эксплуатируемых в Вооруженных Силах Украины, нижняя граница коэффициента запаса может уменьшиться.

Для определения статистических параметров генеральной совокупности распределения использованы доверительные интервалы для среднестатистического значения коэффициентов запаса и среднеквадратичного отклонения [3]. Установлено, что при доверительной вероятности, равной 0,95, среднестатистическое значение коэффициента запаса прочности генеральной совокупности находится в пределах $a_n = 3,597$; $a_b = 3,794$, а доверительный интервал для стандартного отклонения: $\sigma_n = 0,502$; $\sigma_b = 0,61$.

На рис. 4 в координатах вероятность–коэффициент запаса прочности представлены нормальное распределение выборки из испытанных образцов и границы доверительного интервала с доверительной вероятностью для среднего и стандартного отклонения, равной 0,95, которые определяются зависимостями 2-2 и 3-3.

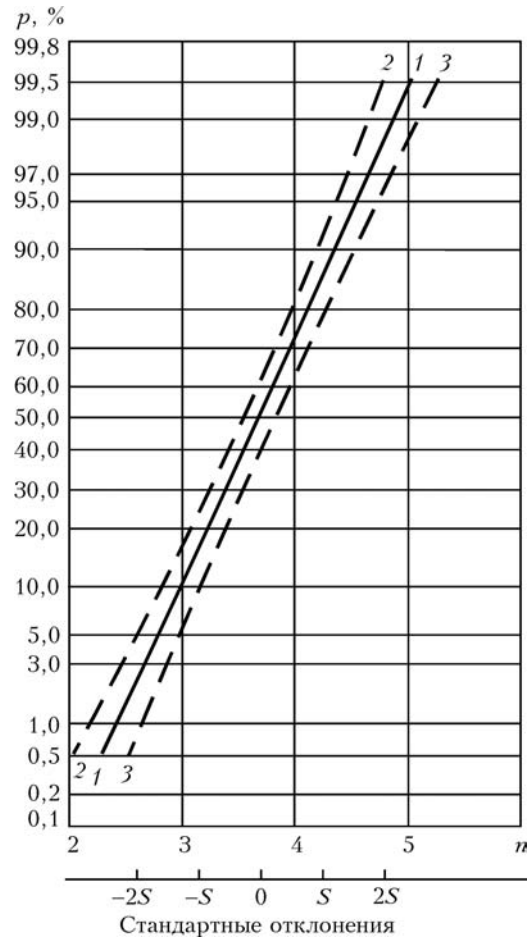


Рис. 4. Границы доверительного интервала нормального распределения запаса прочности баллонов: 1-1 – распределение $p-n$ для выборки; 2-2 и 3-3 – граница доверительного интервала

Полученные параметры границ доверительных интервалов позволяют оценить вероятность эксплуатации баллонов, запас прочности которых ниже некоторого наперед заданного коэффициента запаса. Представляет, по-видимому, интерес определение вероятности наличия баллонов, запас прочности которых будет меньше 2,6 (нормативные запасы прочности для новых баллонов), меньше 2,5; 2,25; 2,0 (нормативные запасы прочности баллонов с ограниченным сроком пребывания в эксплуатации [4]) и 1,5, что характеризует испытание пробным давлением.

В табл. 2 приведены вероятности того, что запасы прочности баллонов не превысят указанных выше величин.

Как видно из приведенных данных, практически отсутствует вероятность разрушения баллонов при их освидетельствовании пробным давлением. Вместе с тем, достаточно высокая вероятность того, что в эксплуатации пребывают типы баллонов, запас прочности которых ниже регламентированного нормами [4, 5].

Как указывалось выше, запасы прочности баллонов разных типов заметно отличаются. Этому способствует ряд моментов, среди которых важное место занимает отличие в технологическом процессе изготовления баллонов, связанное с конструкцией и материалами, разные предприятия-изготовители



Таблица 2. Вероятность пребывания в эксплуатации баллонов с разными запасами прочности

Коэффициенты запаса прочности баллонов	1,5	2,0	2,25	2,5	2,8
Квантиль стандартного отклонения	3,438	2,61	2,208	1,798	1,634
Вероятность пребывания в эксплуатации	0,0005	0,0045	0,015	0,036	0,053

и т. п. Это приводит к повышению рассеивания коэффициентов запаса прочности в выборке, расширению границ доверительных интервалов и, как следствие, тех показателей вероятности пребывания в эксплуатации, которые приведены в табл. 2. Вместе с тем в этих результатах не находят отражения вероятность пребывания в эксплуатации баллонов дифференцированно по каждому типу. Проведенные испытания показывают, что рассеяние коэффициента запаса прочности внутри каждого из типов баллонов заметно ниже, чем в целом по выборке.

Поэтому представляется, что данные табл. 2 можно рассматривать с позиций оценки прочности всего парка баллонов, эксплуатируемых в Вооруженных Силах Украины и изготовленных с единичными требованиями к проектированию, изготовлению и показателям прочности.

Чтобы оценить надежность эксплуатации рассмотренных (см. табл. 1) типов баллонов, необходимо исключить влияние рассеивания, связанного с типом баллонов на статистические характеристики выборки, полученной по результатам испытаний. Представляется, что достичь этого можно,

если выборку формировать не из коэффициентов запаса прочности испытанных баллонов, а из отношений запаса прочности каждого из баллонов данного типа n_{ji} к среднему значению коэффициента запаса прочности для данного типа баллона n_j . Выборка из результатов n_{ji}/n_j характеризует рассеяние результатов по параметру, который не зависит от типа баллона и может быть использован для анализа надежности эксплуатации любого из типов баллонов, которые прошли испытания.

Такая выборка из 123 результатов испытаний соответствует нормальному закону распределения со следующими параметрами: среднестатистическое значение отношений n_{ji}/n_j равно 1,0, согласно определению; дисперсия выборки $s^2 = 0,003055$; стандартное отклонение выборки $s = 0,05527$; доверительный интервал для среднего независимо от доверительной вероятности равен 1,0.

Для 95 %-ной доверительной вероятности границы стандартного отклонения генеральной совокупности будут иметь значение: $\sigma_{н} = 0,0494$, $\sigma_{в} = 0,0622$.

На рис. 5 в координатах вероятность–параметр n_{ji}/n_j представлено нормальное распределение выборки, составленной по результатам испытаний баллонов при статическом нагружении до разрушения, и границы доверительного интервала с доверительной вероятностью для стандартного отклонения, равной 0,95.

Приведенные выше данные позволяют дифференцированно по каждому типу баллонов и с учетом фактических результатов испытаний оценить вероятность для заданного коэффициента запаса, либо оценить коэффициент запаса для заданной вероятности разрушения любого типа баллонов, прошедших испытания.

Так, исходя из среднего значения параметра n_{ji}/n_j и верхней границы стандартного отклонения генеральной совокупности $\sigma_{в} = 0,0622$, в табл. 3 для шести типов баллонов определена вероятность того, что прочность этих баллонов будет ниже нормативных требований. Пять из рассмотренных типов баллонов имеют наименьшие коэффициенты запаса прочности, а баллон УБЦ-10 имеет коэффициент запаса, близкий к среднему по выборке.

Нормативные требования к запасу прочности баллонов рассматриваются на уровне 2,5 и 2,6.

Аналогично могут быть определены вероятности того, что коэффициент запаса прочности будет не ниже нормативного, или некоторого заданного значения для других типов баллонов, которые прошли испытания. Приведенные данные свидетельствуют, что даже для типов баллонов с наиболее низким коэффициентом запаса прочности вероятность присутствия баллона с запасом прочности ниже нормативного значения весьма невысокая. Если оце-

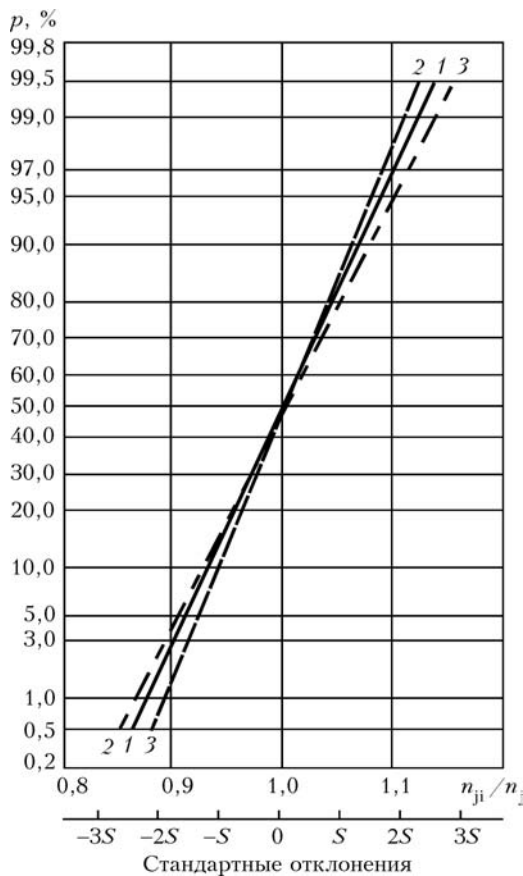


Рис. 5. Граница доверительного интервала нормального распределения параметра n_{ji}/n_j



Таблица 3. Вероятность коэффициента запаса прочности не ниже нормативного уровня для отдельных типов баллонов

Тип баллона	n_j	$2,6/n_j$	$2,5/n_j$	Вероятность того, что		Вероятность того, что	
				$2,6/n_j$	$2,5/n_j$	$n \geq 2,6$	$n \geq 2,5$
155-6110-5250.5	2,975	0,8739	0,8403	2,027	2,568	0,978	0,995
ОП-20-20-30	2,987	0,8704	0,8370	2,080	2,621	0,981	0,996
5.12.7607.8000.00	3,000	0,8667	0,8333	2,144	2,680	0,983	0,996
5.12.7802.1100.00	3,028	0,8586	0,8256	2,272	2,803	0,988	0,997
УБШ 25/150	3,049	0,8527	0,8199	2,318	2,895	0,991	0,998
УБЦ-16	3,667	0,7090	0,6818	4,678	5,115	$\sim 0,9^6$	$\sim 0,9^7$

нить вероятность разрушения баллонов типа 155-6110.5250.5 при пробных испытаниях ($n = 1,5$), то она определяется цифрой с более чем девятью нолями после запятой. Конечно, это относится к изделиям, не имеющим дефектов и прошедшим соответствующий контроль [5]. Исходя из этого, для рассмотренных 25 типов баллонов могут быть пересмотрены сроки плановых освидетельствований и они могут быть приведены в соответствие с существующими для летательных аппаратов или их агрегатов.

Представляется, что полученные результаты могут быть использованы для оценки надежности других типов баллонов, которые в рамках данных исследований не проходили испытания. При этом испытания новых типов баллонов необходимо проводить в тех же объемах по той же методике и этими результатами должна быть дополнена настоящая выборка.

Срок эксплуатации баллонов и величина коэффициента запаса прочности. Наличие достаточного большого количества баллонов, прошедших испытания и разный срок их эксплуатации на момент исследований, в том числе и по отдельным типам баллонов, позволяет оценить влияние срока эксплуатации на величину коэффициента запаса прочности. Другими словами, осуществить попытку выявить деградацию свойств материала под влиянием среды и срока эксплуатации баллонов.

Исследования проводились в трех направлениях.

Во-первых, устанавливали наличие корреляционной связи между сроком фактического пребывания в эксплуатации и значением коэффициента запаса прочности дифференцированно по каждому типу баллонов. Естественно, рассматривали только те типы, в которых баллоны имели различный срок эксплуатации. Результаты корреляционного анализа показали, что в абсолютном большинстве типов баллонов отсутствует корреляционная связь между сроком эксплуатации баллонов и коэффициентом запаса прочности. Принято считать, что корреляционная связь между исследуемыми параметрами надежная, если коэффициент корреляции r по абсолютной величине более 0,7, а его надежность m_r , определяемая отношением коэффициента корреляции к мере индивидуального рассеяния, превышает по абсолютной величине 3,0. Исходя из этого, достаточно надежная связь между

фактическим сроком эксплуатации и коэффициентом запаса прочности установлена для баллона типа 2.11.5303, для которого коэффициент корреляции равен 0,811, а надежность коэффициента корреляции равна 4,75.

Для других типов баллонов корреляционная связь либо ненадежная, либо вообще отсутствует. На рис. 6 приведены результаты испытаний по отдельным типам баллонов и линии регрессии, которые подтверждают или исключают наличие связи между указанными параметрами.

Характерно, что для баллонов типа 2.11.5305 с увеличением срока эксплуатации коэффициент запаса прочности несколько возрастает, что по-видимому, можно объяснить процессом старения стали 30ХМА. В баллонах типа Ш-2 и КБШ-4 прослеживается тенденция снижения коэффициента запаса прочности. Заметим, что как повышение, так и снижение коэффициента запаса прочности является несущественным, поэтому в целом, исходя из полученных результатов следует считать, что изменение механических свойств и толщины стенки изделий за исследованный промежуток времени практически не выявлено.

Во-вторых, исследована корреляционная связь между фактическим сроком эксплуатации баллонов и соответствующим значением коэффициента запаса прочности для всей партии баллонов, которые прошли статические испытания. Результаты этих исследований показали, что коэффициент корреляции равен 0,38. Это свидетельствует о практическом отсутствии влияния срока эксплуатации на служебные свойства исследованных баллонов.

В-третьих, исследовано существование корреляционной связи между фактическим сроком эксплуатации баллонов и относительным значением коэффициента запаса прочности (n_{ji}/n_j) для всей партии баллонов. Результаты этих исследований показали, что коэффициент корреляции $r = -0,03$. Это свидетельствует о полном отсутствии связи между рассматриваемыми параметрами.

Суммируя приведенные выше результаты, есть все основания утверждать, что в рамках исследованных сроков эксплуатации не установлено их влияние на значение коэффициента запаса прочности рассмотренных типов баллонов, а следовательно, на их служебные свойства.

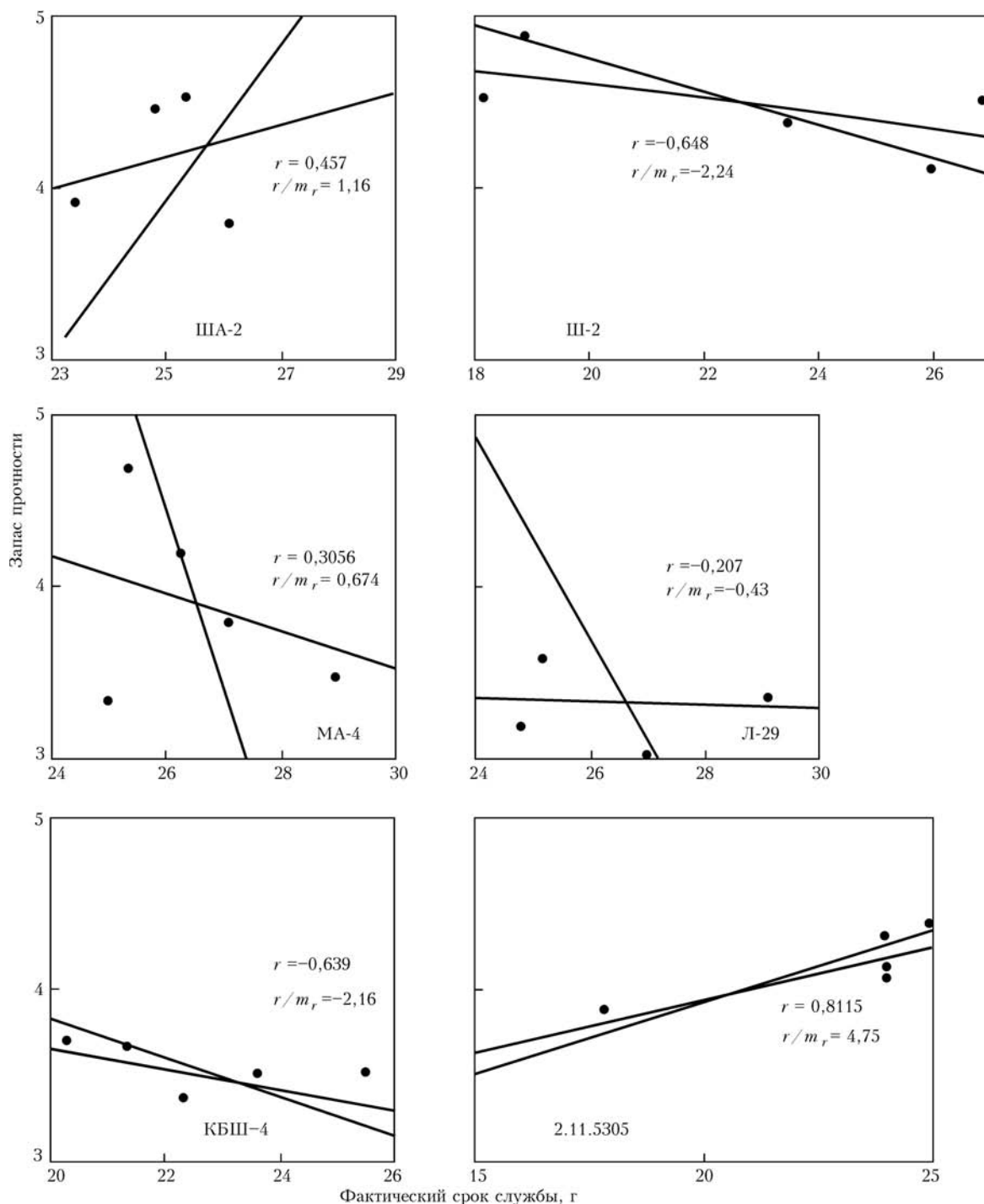


Рис. 6. Корреляционная связь и линии регрессии для отдельных типов баллонов

Выводы

Испытания 25 типов баллонов (по два каждого типа) циклической нагрузкой в режиме $0 - P_{\text{раб}}$ на базе 10^4 циклов показали, что за исключением одного баллона типов Л-29.8121-08 и УБШ-2 все остальные выдержали данный вид испытаний. До появления сквозной трещины усталости баллон Л-29.8121-08 выдержал 8000 циклов нагружений, а баллон УБШ-2 8250 циклов нагружений. Наличие трещин усталости требует уточнения эксплуатационной нагрузки данных типов баллонов и, исходя из этого, следует назначать срок безопасной их эксплуатации.

Результаты испытаний 123 баллонов статической нагрузкой внутренним давлением до разрушения свидетельствуют, что запас прочности колеблется в границах 2,6:4,9. Наиболее низкий запас прочности имеют баллоны типа 155-5110.5250.5 (2,719:3,156, с средним значением по пяти испытаниям, равным 2,975), а наиболее высокий — баллоны типа КБ-2 (4,233... 4,900, с средним значением 4,589).

По показателю запаса прочности в одну выборку могут быть объединены результаты испытаний баллонов, отличающихся рабочим давлением, конструкцией, объемом, материалом и рабочей средой.



Выборка соответствует нормальному закону распределения со средним 3,695 и стандартным отклонением 0,552.

Показано, что выборка, сформированная как отношение запаса прочности данного конкретного баллона n_j к среднему показателю запаса прочности соответствующего типа баллонов n_j , соответствует нормальному закону распределения с параметрами для среднего 1,00 и стандартным отклонением 0,05527. Установлена вероятность того, что запас прочности отдельных типов баллонов будет не ниже нормативных требований.

Результаты испытаний внутренним давлением до разрушения баллонов, которые предварительно прошли циклические испытания, не дают оснований утверждать, что их прочность отличается от

прочности баллонов, которые не подвергались циклической нагрузке.

Результаты испытаний подтверждают возможность перевода типов баллонов, которые прошли испытания, в категорию со сроком эксплуатации более, чем 30 лет.

1. Куркин С. А. Прочность сварных тонкостенных сосудов, работающих под давлением. — М.: Машиностроение, 1976. — 184 с.
2. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Краткий курс математической статистики для технических приложений. — М.: Физматгиз, 1959. — 436 с.
3. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями. — М.: Изд-во иностранной литературы, 1956. — 664 с.
4. ГОСТ 15586-93. Системы пневматических летательных аппаратов. — Введен в Украине 01.07.99.
5. ДНАОП 0.00-1.07-94. Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском. — Київ, 1998. — 190 с.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины,
Гос. НИИ авиации МО Украины,
Киев

Поступила в редакцию
25.11.2005

НОВЫЕ КНИГИ

Троицкий В. А. Краткое пособие по контролю качества сварных соединений. — К.: Феникс, 2006. — 320 с.



В пособии рассмотрены методы неразрушающего контроля (НК) и их классификация, изложены основные понятия и физические основы, приведены технические характеристики основных видов оборудования и вспомогательных средств для визуальной, ультразвуковой, радиационной, магнитной, капиллярной дефектоскопии и контроля герметичности. Классифицированы основные типы дефектов сварных соединений, выполненных дугowymi, контактными и другими видами сварки. Изложены вопросы статистической обработки результатов контроля, управления качеством сварки, примеры ведомственных норм на дефектность сварных соединений.

Приведены примеры использования средств НК в трубопроводном транспорте, в нефтегазовой и строительной промышленности, при производстве труб магистральных трубопроводов.

Методические рекомендации рассчитаны на инженерно-технических работников, дефектоскопистов и могут быть полезны студентам вузов. Издание третье, дополненное.

Ультразвуковой контроль: дефектоскопы, нормативные документы, стандарты по УЗК / Составитель В. А. Троицкий. — К.: Феникс, 2006. — С. 240.

Справочное пособие, содержащее сравнительный анализ современных ультразвуковых дефектоскопов, нормативные документы и стандарты по этому виду неразрушающего контроля качества.

Предназначено для инженеров, занимающихся контролем качества, диагностикой энергетического и другого ответственного оборудования. Дополняет учебно-методический материал, изложенный в книге В. А. Троицкого «Краткое пособие по контролю качества сварных соединений», издание третье, 2006 г.

