

УДК 621.6

## ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОЛЕВОГО СКЛАДА ГОРЮЧЕГО ПСГ-600

Ю.Н. РЫБАКОВ, Р.И. КЮННАЦ, С.И. ЧИРИКОВ

Предложены показатели для проведения оценки долговечности при ограниченных испытаниях и эксплуатации объектов ПСГ-600 на основе определения гамма-процентного ресурса. Разработан алгоритм определения исходного и продляемого ресурсов на основе ресурсно-прочностного исследования составных частей полевого склада горючего с учетом периода безопасной эксплуатации  $n \geq 1$ .

**Ключевые слова:** долговечность, полевой склад горючего, технические средства, гамма-процентный ресурс, остаточный ресурс, критерий предельного состояния, период безопасной эксплуатации.

Одним из приоритетных направлений развития полевых средств хранения горючего является создание комплекса мобильного полевого склада горючего (рис. 1) повышенной надежности, безопасности, живучести [1–3].

Вопросы оценки долговечности технических средств полевого склада горючего ПСГ-600 при ограниченных испытаниях и эксплуатации, а также их сборочных единиц основаны на обработке статистических данных по их наработкам до предельного состояния [4–11].



Рис. 1. Общий вид полевого склада горючего ПСГ-600

Объектом испытаний являлись образцы технических средств и технологического оборудования ПСГ-600, подвергающиеся предварительным, государственным, приемочным, межведомственным, периодическим или другим видам испытаний, сокращенных или подконтрольной войсковой эксплуатации, в объеме менее заданного (назначенного) ресурса [12–14].

Под оценкой уровня долговечности составной части образца понималась точечная оценка долговечности по показателю средний или гамма-процентный ресурс. Вычисления показателя производились по плану  $NMT$ : где  $N$  – число испытываемых образцов (СЧ);  $M$  – означает, что образец восстанавливают при испытаниях в случае его отказа;  $T$  – продолжительность испытаний либо наработка.

Гамма-процентный ресурс – суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью гамма, выраженной в процентах – по ГОСТ 27002.

Критерии предельного состояния (ПС) указывались в эксплуатационно-технологической документации и представляли собой признак или совокупность признаков технического характера, появление которых свидетельствует о достижении составными частями полевого склада горючего предельного состояния.

В качестве оценочного показателя долговечности технологического оборудования применяли гамма-процентный ресурс (для ТС ПСГ принимают  $\gamma = 90\%$ ).

Показатели оценивали с точки зрения неизвестных законов распределения наработок образцов до предельного состояния (ресурсного отказа СЧ), включая непосредственную их оценку по данным, полученным экспериментальным методом (по эксплуатационным наблюдениям).

Значение среднего ресурса  $R_{\text{ср}}$  образца (СЧ) рассчитывали по следующей формуле:

$$R_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=1}^n S_{Hi} + \sum_{j=1}^{m-n} S_{pj} \left( \frac{N}{n} \right)^v \right], \quad (1)$$

где  $N$  – число испытываемых образцов (СЧ);  $S_{Hi}$  – наработка  $i$ -го образца до предельного состояния или  $i$ -й СЧ до ресурсного отказа;  $n$  – число образцов, достигших предельного состояния в процессе испытаний или число ресурсных отказов СЧ;  $m$  – число образцов, не достигших предельного состояния к концу испытаний или число СЧ данного наименования, не имевших ресурсных отказов в процессе испытаний, рассчитываемое по формуле

$$m = N - n, \quad (2)$$

$S_{pj}$  – наработка  $j$ -й СЧ, не достигшей предельного состояния;  $v$  – коэффициент вариации, определяемый по следующей формуле:

$$v = S_{\text{ско}} / \bar{S}, \quad (3)$$

$S_{\text{ско}}$  – СКО, вычисляемое по формуле

$$S_{\text{ско}} = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_{Hi} - \bar{S})^2 + \sum_{j=1}^m (S_{pj} - \bar{S})^2}, \quad (4)$$

где  $\bar{S}$  – выборочная средняя, рассчитываемая по формуле

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{Hi} + \sum_{j=1}^{m-n} S_{pj}}{N}. \quad (5)$$

Величину гамма-процентного ресурса ( $\gamma = 90\%$ ) рассчитывали по следующей формуле:

$$R_{\gamma} = (1 - \psi)S_k + \psi S_{k+1}, \quad (6)$$

где  $\psi = (1 - \gamma/100)N - k_{\gamma}$  – поправочный коэффициент,  $k_{\gamma}$  – порядковый номер члена возрастающего вариационного ряда наработок объектов до предельного состояния или до ресурсных отказов СЧ как ближайшее целое число меньше величины:

$$k_{\gamma} < N \left( 1 - \frac{\gamma}{100} \right), \quad (7)$$

$S_k, S_{k+1}$  – наработки образцов до предельного состояния или СЧ до ресурсных отказов с порядковыми номерами в вариационном ряду соответственно  $k_{\gamma}$  и  $k_{\gamma+1}$ , которые используются для расчета  $R_{\gamma}$  по формуле (6).

Если  $N < 10$ , то для оценки  $R_{\gamma} = 90\%$  в качестве первого члена вариационного ряда принимают 0 и  $S_k = 0$ , а в качестве  $k_{\gamma}$  – первый член вариационного ряда и его величину наработки.

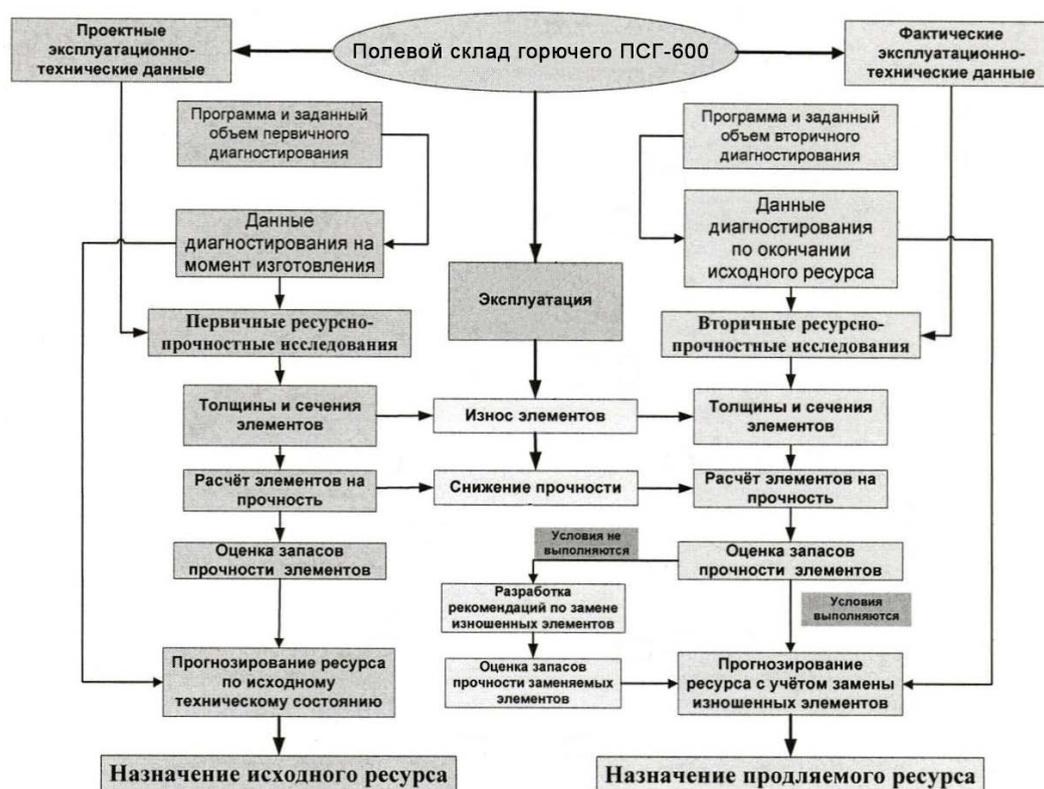
Результаты расчета гамма-процентного ресурса составных частей полевого склада горючего ПСГ-600 по формулам 1–7 представлены в таблице.

**Результаты расчета гамма-процентного ресурса составных частей по результатам испытаний (эксплуатации)**

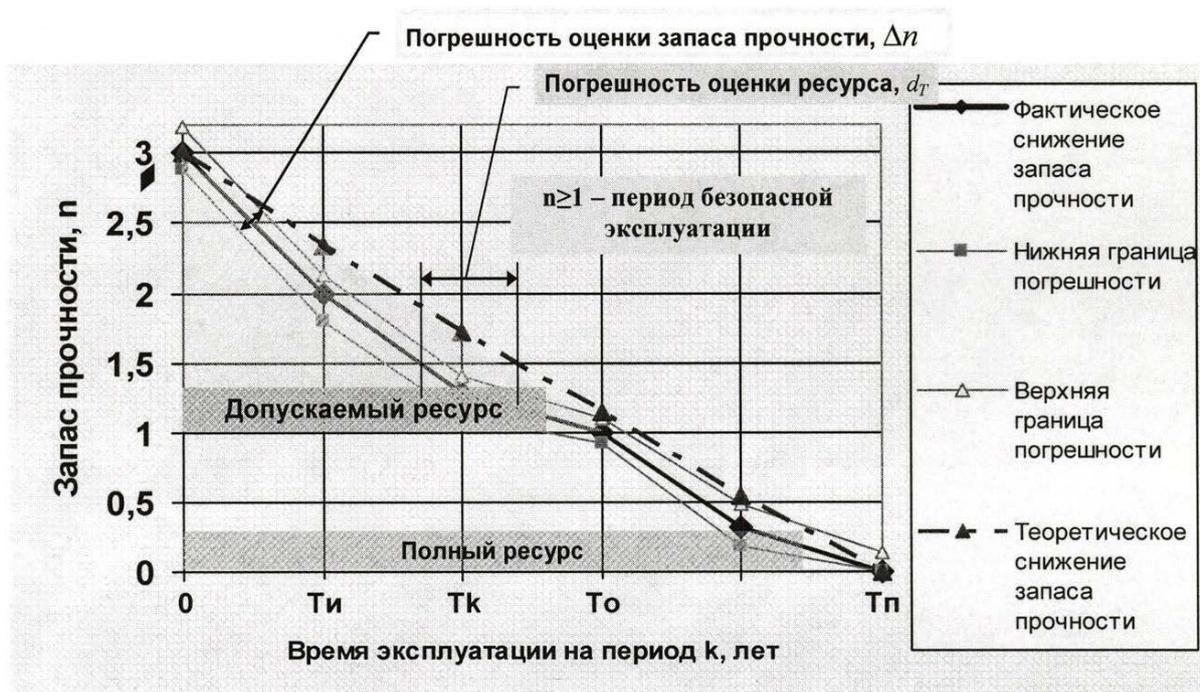
Объект	Гамма-процентный ресурс	
	Ч	Г
Эластичный резервуар ЭР-50	67487	7,7
Напорно-всасывающие рукава	884	0,1
Уплотнительные кольца	90193	10,2
Противофильтрационный полог ПФП	45238	4,9
Сборно-разборное каре обвалования	52182	5,9
Быстроразъемное присоединительное устройство	25745	2,9
Насосно-раздаточный модуль	44502	5,0
Участок массовой выдачи горючего УМВГ	72708	8,2
Складской трубопровод	85423	9,7
Плоскостворачиваемые рукава	43800	4,9
ISO-контейнер 1С	87600	10,0

Алгоритм определения исходного и продляемого ресурса на основе ресурсно-прочностного исследования составных частей полевого склада горючего представлен на рисунке 2.

На рисунке 3 представлены результаты фактического и расчетного снижения запаса прочности составных частей полевого склада горючего с учетом верхней и нижней границ погрешности измерения.



**Рис. 2.** Структурная схема алгоритма определения исходного и продляемого ресурса на основе ресурсно-прочностного исследования составных частей полевого склада горючего



**Рис. 3.** Изменение ресурса полевого склада горючего при снижении запаса прочности составных частей от  $n = 3,0$  до  $n = 0$ , где  $T_p$  – полный ресурс технического устройства до достижения предельного состояния, когда безопасность эксплуатации не обеспечивается;  $T_i$  – исходный ресурс технического устройства, назначенный заводом-изготовителем или экспертной организацией при первичном техническом диагностировании и первичном ресурсно-прочностном исследовании;  $T_k$  – продляемый ресурс технического устройства, назначенный по результатам  $k$ -го (вторичного или последующего) технического диагностирования и  $k$ -го (вторичного или последующего) ресурсно-прочностного исследования технического устройства;  $T_o$  – остаточный ресурс технического устройства, определенный по результатам последнего технического диагностирования и последнего ресурсно-прочностного исследования технического устройства, по расходованию которого достигается предельно допустимый ресурс безопасной эксплуатации, по истечению которого эксплуатация должна быть прекращена.

В результате проведенного исследования определен гамма-процентный ресурс и предложены варианты алгоритмов определения исходного и продляемого ресурсов на основе ресурсно-прочностного исследования составных частей полевого склада горючего с учетом периода безопасной эксплуатации  $n \geq 1$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбаков Ю.Н., Пирогов Ю.Н., Харламова О.Д. Вопросы обеспечения горючим Вооруженных Сил Российской Федерации в особый период. М., 2014. С. 1–2. Деп. в 46 ЦНИИ МО РФ. Серия А, выпуск № 2 (123-2014), 22.04.14. № А 31939.
2. Пирогов Ю.Н., Рыбаков Ю.Н., Ванчугов Н.А. Математическое моделирование управления запасами горючего и технических средств. М., 2011. С. 2. Деп. в Центральный справочно-информационный фонд МО РФ. Серия А, выпуск № 2 (111), 08.06.11. № А 31037.
3. Рыбаков Ю.Н., Харламова О.Д., Ванчугов Н.А. Эластичные резервуары для горючего. М., 2011. С. 3–4. Деп. в 46 ЦНИИ МО РФ. Серия А, выпуск № 2 (111), 22.07.11. № Б 7714.
4. ГОСТ РВ 15.210-2001 «Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Испытания опытных образцов изделий и опытных ремонтных образцов изделий. Основные положения». М.: Госстандарт России, 2001. 36 с.
5. ГОСТ РВ 15.211-2002 «Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Порядок разработки программ и методик испытаний опытных образцов изделий. Основные положения». М.: Госстандарт России, 2002. 21 с.

6. ГОСТ 16504-81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения». М.: Стандартинформ, 2011. 22 с.
7. ГОСТ РВ 27.2.01-2005 «Надежность военной техники. Классификация отказов и предельных состояний». М.: Стандартинформ, 2005. 30 с.
8. ТУ 7981-023-08151164-2013 «Полевой склад горючего ПСГ-1000: технические условия». М.: ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», 2013. 59 с.
9. ГОСТ РВ 15.203-2001 «Военная техника. Порядок выполнения опытно-конструкторских работ по созданию изделий и их составных частей. Основные положения». М.: ВНИИСтандарт, 2001. 111 с.
10. ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения». М.: Издательство стандартов, 1990. 32 с.
11. ГОСТ РВ 51540-2005 «Военная техника. Термины и определения». М.: Издательство стандартов, 2005. 11 с.
12. Отчет о НИР Тактико-технические характеристики технических средств службы горючего сухопутных войск ведущих зарубежных стран, шифр «Дуэль-30-25», 1 бр. на 130 листах, инв. № 5487. Науч. рук. Ю.Н. Рыбаков. Отв. исп. Волков О.Е., ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», 2012 г. С. 89–92.
13. Совместное решение от 15 апреля 2014 года № А 52-2014 по акту государственных испытаний опытного образца полевого склада горючего ПСГ-600. 12 с.
14. Приказ Министра обороны РФ о принятии на снабжение полевого склада горючего ПСГ-600 №113 от 02.03.2015 г. 2 с.

## ASSESSMENT OF DURABILITY AND PREDICTION OF RESIDUAL LIFE OF TECHNICAL EQUIPMENT OF FIELD FUEL DEPOTS PSG-600

**Rybakov Yu.N., Kyunnap R.I., Chirikov S.I.**

The indicators are introduced for the assessment of durability under limited testing and operation of the objects PSG-600 on the basis of g-percentile lifetime. The algorithm was worked out to determine the source and the renewable resources on the basis of the resource strength research of component parts of the fuel field depot, including the period of safe operation  $n \geq 1$ .

**Key words:** durability, fuel field depot, facilities, g-percentile lifetime, residual life, limit state criteria, the period of safe operation.

### REFERENCES

1. **Rybakov Yu.N., Pirogov Yu.N., Kharlamov O.D.** Questions fuel supply of the Armed Forces of the Russian Federation in a special period. М., 2014. P. 12. Article 46 deposited with the Central Research Institute of the Russian Defense Ministry. Series A Issue № 2 (123-2014), 22.04.14. A 31939.
2. **Pirogov Yu.N., Rybakov Yu.N., Vanchugov N.A.** Mathematical modeling of fuel management and facilities. М., 2011. P. 2. Article deposited with the central reference and information fund of the Russian Defense Ministry. Series A Issue № 2 (111), 08.06.11. A 31037.
3. **Rybakov Yu.N., Kharlamov O.D., Vanchugov N.A.** Flexible tanks for fuel. М., 2011. P. 3–4. Article 46 is deposited in the Central Research Institute of the Russian Defense Ministry. Series A Issue № 2 (111), 22.07.11. B 7714.
4. GOST RV 15.210-2001 "System development and launch of new products. Military equipment. Prototype testing of products and an experienced repair product samples. The main provisions". М.: State Standard of Russia, 2001. 36 p.

5. GOST RV 15.211-2002 "System development and launch of new products. Military equipment. The procedure for programming and testing methods prototypes of products. The main provisions". М.: State Standard of Russia, 2002. 21 p.s
6. GOST 16504-81 "System of state testing products. Testing and quality control. Basic terms and definitions". М.: Standartinform, 2011. 22 p.
7. GOST RV 27.2.01-2005 "Reliability of military equipment. Classification of failures and limit states". М.: Standartinform, 2005. 30 p.
8. TU 7981-023-08151164-2013 "Field fuel depot PSG 100: specifications". М.: FAA "25 Chemmotology Research Institute of the Russian Defense Ministry", 2013. 59 p.
9. GOST RV 15.203-2001 "Military equipment. The procedure for performing development work on the creation of products and their components. The main provisions". М.: VNIStandart, 2001. 111 p.
10. GOST 27.002-89 "Reliability in the art. Basic concepts. Terms and Definitions". М.: Publisher Standards, 1990. 32 p.
11. GOST RV 51540-2005 "Military equipment. Terms and Definitions". М.: Publishing house standards, 2005. 11 p.
12. Report on research performance characteristics of the fuel service technical means land forces leading foreign countries, code "Duel-30-25", 1 br. 130 sheets, Inv. № 5487. Sci. hands. Yu.N. Rybakov. Ans. App. Volkov O.E., the FAA "25 Chemmotology Research Institute of the Russian Defense Ministry", 2012. P. 89–92.
13. The joint solution by April 15, 2014 A number 52-2014 by the act of state testing prototype fuel dumps PSG-600. 12 p.
14. Order of the Minister of Defense of the Russian Federation on the decision to supply dumps fuel PSG 600 № 113 from 02.03.2015g. 2 p.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Рыбаков Юрий Николаевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник отдела складов горючего «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», ribakov61@yandex.ru.

**Кюннап Роман Игоревич**, младший научный сотрудник отдела складов горючего «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России».

**Чириков Сергей Игоревич**, младший научный сотрудник отдела складов горючего «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России».