



ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗА СЧЕТ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Г. В. Зибров, В. Н. Старов, Е. В. Смоленцев, А. В. Попов

Предложены пути, обеспечивающие повышение работоспособности военной и специальной техники и выбора технологических методов, используемых при восстановлении эксплуатационных характеристик сложных изделий.

Ключевые слова: отказы элементов конструкций, неразрушающие методы диагностики, акустическая эмиссия, интенсивность технологического воздействия, критерий оценки при выборе технологического метода, технологическая наследственность, методы обработки, эксплуатационные характеристики.

Статистика отказов силовых элементов конструкций военной и специальной техники (ВСТ) показывает, что наиболее частыми причинами технических отказов являются зарождение и развитие трещин. Причины их появления несколько. Во-первых, они являются результатом накопленных дефектов, полученных от различных внешних эксплуатационных воздействий. Во-вторых, это не полностью учтенные на стадиях жизненного цикла изделия (ЖЦИ) влияния производственных технологических процессов,

отсутствие должного внимания к факторам технологической наследственности в ЖЦИ.

Для определения прочностных характеристик сложных конструкций необходимо оценивать кинетику накопления и развития дефектов, что может обеспечить получение достоверной оценки прочности конструкции ВСТ по фактическому состоянию.

Существуют различные методы неразрушающего определения прочности конструкций ВСТ, большинство которых основано на сканировании поверхностей либо проведении изучения подповерхностных слоев материала конструкции. Однако в указанных случаях дефекты не ранжируются по степени опасности. Из неразрушающих методов контроля высокой достоверностью и точностью выделяется метод акустической эмиссии (АЭ), который позволяет обнаруживать опасные развивающиеся дефекты, оценивать их размеры, степень опасности, прогнозировать разрушающую нагрузку и ресурс конструкции и другие.

Особенностью метода АЭ является возможность регистрации, обработки и анализа акустических процессов, несущих информацию об опасных развивающихся дефектах в силовых элементах, и таким образом делать выводы о прочности и ресурсе конструкций.

Авторами предложен новый подход к определению прочностных характеристик силовых элементов ВСТ, основанный на оценке изменения распределений числа актов АЭ на фиксированных ин-

Зибров Геннадий Васильевич, д-р пед. наук, проф., Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж);

Россия, г. Воронеж, тел.: (473)236-90-18, e-mail: academy-vvs.ru

Старов Виталий Николаевич, д-р техн. наук, проф., Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, e-mail: vigps_onirio@mail.ru

Смоленцев Евгений Владиславович, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный технический университет; Россия, г. Воронеж, тел.: (473)246-27-72

Попов Алексей Владимирович, д-р техн. наук, доц., Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж); Россия, г. Воронеж, тел.: (473)236-90-18

тервалах времени в процессе деформирования конструкций. На этой основе запатентованы способы оценки процессов разрушения конструкций при акустико-эмиссионном контроле [1, 2]. Высокоточное определение прочностных характеристик элементов конструкций ВСТ проводят вне зависимости от их предыстории эксплуатации, формы и размеров достигнимо с использованием метода функциональных инвариантов, основанного на определении степени отклонения («разладки») распределений амплитуд сигналов АЭ процессов при деформировании [3].

Задачей исследования являлась необходимость знать о состоянии объекта на различных этапах ЖЦИ и управлять развитием интересующих нас процессов. В этой связи исследованы особенности выбора или разработки технологических методов воздействий (\bar{X}) на эксплуатационные показатели (\bar{y}).

В общем виде связь между технологическими воздействиями (\bar{X}) и эксплуатационными показателями (\bar{y}) выражается функциональной зависимостью (Φ) вида:

$$\bar{y} = \varphi(\bar{x}). \quad (1)$$

В момент выявления какой-то нештатной ситуации в изделии величина \bar{y} выходит за установленные граничные условия для исследуемого показателя и принимает значение

$$\bar{y} > \bar{y}_H \pm |\Delta \bar{y}|, \quad (2)$$

где \bar{y}_H - номинальное значение эксплуатационного показателя; $|\Delta \bar{y}|$ предельная величина измерения \bar{y}_H , установленная нормативными документами. Тогда на изменение параметра \bar{y}_H влияет интенсивность технологического воздействия (\bar{X}), которое зависит от его вида и оценивается через коэффициент значимости (k_{i3}) для «i»-го воздействия. Для этого требуется установить изменение $\Delta \bar{y}$ от полученного при каких-то проведенных испытаниях значения \bar{X} . Границы изменения каждого «i»-го параметра \bar{X} заданы в пределах, например, как

$$G(\Delta \bar{y}) = P\{ \bar{X} < X \}. \quad (3)$$

Если принять функцию « Φ » в ф.(1) гладкой монотонно изменяющийся, то её распределение имеет вид [4]

$$G(\Delta \bar{y}) = \int_a^{\bar{a}} F(x) dx. \quad (4)$$

При известном законе (4) функция распределения получает численные значения, дающие возможность разработать механизм управления качеством изделий на основании статистической информации о появлении нештатных ситуаций в процессе испытаний и предполетной подготовки изделия (например, ракеты, самолета и т.п.). Это позволяет обоснованно подобрать эффективные технологические методы восстановления или приемы, необходимые для ликвидации возникшей ситуации и предотвратить возможности повторения причин нарушения работоспособности изделий. Кроме того открывается возможность заранее разработать новые технологические процессы, эффективно повышающие качество изделий.

Известно [4, 5], что функция распределения $\{F(x)\}$ представляет вероятностную (P) связь воздействия со случайной величиной \bar{X} в пределах заданного значения x

$$F(x) = P\{ \bar{X} < x \} \quad (5)$$

Воздействие технологического фактора по времени $\{ \bar{X}(\tau) \}$ рассматривается, как дискретная функция, имеющая в момент времени τ значение

$$F(\tau, x) = P\{ \bar{X}(\tau) < x \}. \quad (6)$$

Величина $\bar{x}(\tau)$ отражает совместное воздействие N технических факторов на качество $\{F(\tau, x)\}$ изделия. Каждый интервал времени воздействия обеспечивает показатель (y) качества конкретного изделия, определяя его эксплуатационные показатели. Количество единиц изделий (k) в рассматриваемый период (τ) действия случайного фактора (\bar{X}) определяет качественные показатели продукции, передаваемой потребителю для эксплуатации. Они ограничены техническими требованиями, заданными разработчиком.

Тогда векторное значение технологического воздействия $\{ \bar{X}(\tau) \}$ может быть выражено через величины \bar{X}

$$\bar{x}(\tau) = \{ \bar{x}_1(\tau), \bar{x}_2(\tau), \dots, \bar{x}_N(\tau) \} \quad (7)$$

В ф.(7) все результаты (y) N воздействий подчиняются установленным ограничениям технологических параметров (например, допуском).

Функция распределения для воздействий имеет вид:

$$F \begin{pmatrix} \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, \\ x_1, x_2, \dots, x_{1k}, \\ x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2k}, \\ \vdots \\ x_{N1}, x_{N2}, \dots, x_{Nk} \end{pmatrix} = P \left\{ \begin{matrix} \bar{x}_1(\tau_1) < x_{11}, \bar{x}_1(\tau_2) < x_{12}, \dots, \bar{x}_1(\tau_k) < x_{1k}; \\ \bar{x}_2(\tau_1) < x_{21}, \bar{x}_2(\tau_2) < x_{22}, \dots, \bar{x}_2(\tau_k) < x_{2k}; \\ \vdots \\ \bar{x}_M(\tau_1) < x_M, \bar{x}_M(\tau_2) < x_{M2}, \dots, \bar{x}_M(\tau_k) < x_{Mk} \end{matrix} \right\} = \quad (8)$$

$$= P \left\{ \prod_{i=1}^M \{ \bar{x}_i(\tau_1) < x_{i1}, \bar{x}_i(\tau_2) < x_{i2}, \dots, \bar{x}_i(\tau_k) < x_{ik} \} \right\}.$$

P – суммарный показатель воздействия технологических факторов.

Выбор наиболее действенных и обоснованных технологических приемов также строится на базе статистики и подчиняется стохастическим закономерностям.

$$\bar{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}. \quad (9)$$

Критерием оценки при выборе технологического метода может служить: уровень исследуемой разработки (известность, результаты использования, наличие, доступность); уровень воздействия на качество продукции; технический уровень изделия; технико-экономическое обоснование и др.

С учетом ф. (1) закон распределения случайной величины имеет запись [4]

$$G(\Delta \bar{y}) = \int_{-\infty}^{\infty} (N-1) \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{\varphi(x_1, \dots, x_n) < y} f_{1,2,3, \dots, N}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) d\bar{x}_1 \right\} \times f_{2,3, \dots, N}(\bar{x}_2, \dots, \bar{x}_N) d\bar{x}_2, \dots, d\bar{x}_N \quad (10)$$

Здесь плотность распределения величины \bar{x}

$$f_{2,3, \dots, N}(\bar{x}_2, \dots, \bar{x}_N) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_N) d\bar{x}_1 \quad (11)$$

Условие обоснованного выбора требуемого технологического процесса для устранения конкретного отклонения ($\Delta \bar{y}$) будет

$$\bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_N \in \left\{ \begin{matrix} \bar{x}_2, \bar{x}_2 + d\bar{x}_2 \\ \bar{x}_3, \bar{x}_3 + d\bar{x}_3 \\ \vdots \\ \bar{x}_N, \bar{x}_N + d\bar{x}_N \end{matrix} \right\} \quad (12)$$

Если учесть реальное время, в течение которого принятый прием воздействует на исследуемые показатели качества и надежности, то получаем зависимость ф.(13), близкую к ф.(8).

Эта зависимость является математической моделью или инструментом для отбора возможных вариантов технологических процессов, обеспечивающих требуемые эксплуатационные характеристики изделий.

$$G(\Delta \bar{y}) = \int_{-\infty}^{\infty} (N-1) \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{\varphi(x(\tau)_1, \dots, x(\tau)_N) < y} f_{1,2,3, \dots, N} \begin{pmatrix} \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, \\ \bar{x}_{11}, \bar{x}_{12}, \dots, \bar{x}_{1k}, \\ \bar{x}_{21}, \bar{x}_{22}, \dots, \bar{x}_{2k}, \\ \vdots \\ \bar{x}_{N1}, \bar{x}_{N2}, \dots, \bar{x}_{Nk} \end{pmatrix} d\bar{x}_1 \right\} \times \quad (13)$$

$$\times f_{2,3, \dots, N} \begin{pmatrix} \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, \\ \bar{x}_{21}, \bar{x}_{22}, \dots, \bar{x}_{2k}, \\ \vdots \\ \bar{x}_{N1}, \bar{x}_{N2}, \dots, \bar{x}_{Nk} \end{pmatrix} d\bar{x}_2 \dots d\bar{x}_N$$

После первичного отбора вариантов может потребоваться экспертный анализ, проводящийся по известным методикам. Зависимость ф. (13) можно заметно упростить, если принять, что рассмат-

риваемые технологические методы (технологии создания изделия, правила его эксплуатации), приводящие к конкретным результатам не зависят друг от друга. Получим следующее выражение [4]

$$G(\Delta \bar{y}) = \int_{-\infty}^{\infty} (N-1) \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{\varphi(x_1, \dots, x_N)} f_1(\bar{x}_1) d\bar{x}_1 \right\} f_2(\bar{x}_2) \dots f_N(\bar{x}_N) d\bar{x}_2 \dots d\bar{x}_N \cdot \quad (14)$$

В качестве примера выбора технологических приемов представим рассмотренные нами ранее [5] некоторые случаи, возникающие на этапе жизненного цикла изделия от изготовителя до стартовой площадки ракеты при предполетной подготовке.

Принято, что величина $\Delta \bar{y}$ находится через коэффициент зависимости (k_{i3}) каждого i -го отклонения параметра A_i , влияющего на качество произведенного изделия (эксплуатируемого или испытываемого объекта), надежность, безопасности эксплуатации и работоспособность изделия в целом

$$\Delta \bar{y}_i = k_{i3} A_i \leq [\Delta y_i]. \quad (15)$$

Значимость действия параметров ф.(15) оценивают по зависимости от заданной величины предельного изменения каждого параметра. Если возникшее или выявленное отклонение (повреждение) не вызывает изменения в работе изделия или целостности прочности элементов его конструкции, то возможна дальнейшая эксплуатация объекта.

Для этого необходимо выполнить штатные действия по эксплуатации изделия, например, путем замены поврежденных элементов.

При положительных результатах испытаний выполняют регламентные работы и передают изделие на хранение (в эксплуатацию). При наличии отклонений в работе (обнаружения повреждений) принимают решение о месте устранения замечаний и дефектов. Это может быть у потребителя (замена агрегатов, узлов, деталей и т.п.), у изготовителя, на ремонтных предприятиях.

По информации, приведенной в таблице, выполняют анализ нештатной ситуации, оценивают её значимость, уровень нарушения работоспособности изделия (если это имеет место), обосновывают необходимость и объем испытаний объекта.

В случае необходимости выполняют повторные полные или частичные испытания и по их результатам судят о возможности дальнейшего использования данной техники или принимают решение о путях восстановления её качества и работоспособности при эксплуатации.

Таблица

Величина коэффициента значимости k_{i3} при нештатных ситуациях

№ п/п	Источник возникновения нештатной ситуации	Возможные варианты нештатных ситуаций					
		Утрата работоспособности изделия		Повреждения изделия		Повреждение упаковки	
		k_{i3}	Управленческие решения	k_{i3}	Управленческие решения	k_{i3}	Управленческие решения
1	Авария при транспортировке от исполнителя к заказчику	0,1-0,2	Отправка изготовителю на восстановление работоспособности	0,03-0,05	Испытания, контроль, обоснование места восстановления	0 -0,03	Испытания и контроль у заказчика
2	Нарушения условий хранения	0,1-0,2	Испытания и контроль состояния и сроков Обоснование возможности и места восстановления	0,01-0,05	Испытания и контроль на месте, обоснование необходимости и места восстановления	0 -0,2	Испытания и контроль на месте (кроме продления сроков хранения)
3	Нарушение регламента предполетной подготовки	0,2-0,3	Испытания и принятие решения о месте восстановления работоспособности	0,03-0,05	Анализ причин, испытания и профилактика нарушений	0,1-0,2	Инструментальный контроль и испытания Уточнение регламента

Таким образом, в работе указаны пути повышения работоспособности техники и выбора технологических методов в направлениях восста-

новления эксплуатационных характеристик сложной техники предназначенной решать актуальные задачи МЧС России и МО.

Библиографический список

1. Пат. № 2367941, Российская Федерация. Способ оценки процессов разрушения конструкций при акустико-эмиссионном контроле / Попов А. В., Кондранин Е. А.
2. Пат. № 2367942, Российская Федерация. Способ оценки процессов разрушения конструкций при акустико-эмиссионном контроле / Попов А. В., Кондранин Е. А.
3. Попов, А. В. Методы определения эксплуатационной пригодности силовых элементов конструкций вооружения и военной техники на основе инвариантов акустико-эмиссионных процессов / А.В. Попов, В.Н. Старов, Д.Е. Барабаш, С.Ю. Жачкин // Вестник ВАИУ. – 2012. – № 1(15). – С 28–36.
4. Смоленцев, Е. В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки / Е.В. Смоленцев. – М.: Машиностроение, 2005 – 511 с.
5. Омигов, Б. И. Технология электрохимической размерной обработки как один из путей повышения долговечности транспортной техники / Б. И. Омигов, Е. В. Смоленцев // Справочник. Инженерный журнал. – 2010. – №5. – С. 19–24.

References

1. Pat. № 2367941, Rossiyskaya Federatsiya. Sposob otsenki protsessov razrusheniya konstruktsiy pri akustiko-emissionnom kontrole / Popov A. V., Kondranin E. A.
2. Pat. № 2367942, Rossiyskaya Federatsiya. Sposob otsenki protsessov razrusheniya konstruktsiy pri akustiko-emissionnom kontrole / Popov A. V., Kondranin E. A.
3. Popov, A. V. Metodyi opredeleniya ekspluatatsionnoy prigodnosti silovyih elementov konstruktsiy vooruzheniya i voennoy tehniki na osnove invariantov akustiko-emissionnyih pro-tsessov / A. V. Popov, V. N. Starov, D. E. Barabash, S. Yu. Zhachkin // Vestnik VAIU. – 2012. – № 1(15). – S 28–36.
4. Smolentsev, E. V. Proektirovanie elektricheskikh i kombinirovannykh metodov obrabotki / E.V. Smolentsev. – M.: Mashinostroenie, 2005 – 511 s.
5. Omigov, B. I. Tehnologiya elektrohimi-cheskoy razmernoy obrabotki kak odin iz putey povyisheniya dolgovechnosti transportnoy tehniki / B. I. Omigov, E. V. Smolentsev // Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal. – 2010. – №5. – S. 19–24.

INCREASE EFFICIENCY THROUGH THE RESTORATION OF TECHNOLOGICAL METHODS OF OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF MILITARY AND SPECIAL EQUIPMENT

Zibrov G. V.,

D. Sc. in Pedagogics, Prof.
Military Educational and Scientific Center of the Air Force
«Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky
and Y. A. Gagarin» (Voronezh);
Russia, Voronezh, tel.: (473)236-90-18

Starov V. N.,

D. Sc. in Engineering, Prof.
Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;
Russia, Voronezh, e-mail: vigps_onirio@mail.ru

Smolencev E. V.,

D. Sc. in Engineering, Prof.
Voronezh State Technical University;
Russia, Voronezh, tel.: (473)246-27-72

Popov A. V.,

D. Sc. in Engineering, Assoc. Prof.,
Military Educational and Scientific Center of the Air Force
«Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky
and Y. A. Gagarin» (Voronezh);
Russia, Voronezh, tel.: (473)236-90-18

The ways that enhance the health of military and special equipment and the choice of technological methods used in the recovery of operational characteristics of complex products.

Key words: *the failure of structural elements, non-destructive methods of diagnostics, acoustic emission, the intensity of the technological impact, the evaluation criterion for the choice of technological method, technological heredity, processing methods, operational characteristics.*