

УДК 681.3.06

И.В. Машкина, В.И. Машкин

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДДЕРЖКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СРЕДСТВ

Введение и постановка задачи. По мере оснащения промышленных предприятий новой техникой и по мере старения установленного ранее оборудования, все более важное значение приобретает его эффективная эксплуатация, обеспечивающая техническая готовность (ТГ) предприятия к выполнению производственных задач эффективно и в установленные сроки.

Вопрос определения технической готовности промышленного оборудования, исследование его содержательности, имеет первоочередное значение в методологическом обеспечении решения актуальной комплексной научно - технической проблемы повышения эффективности управления техническим обслуживанием и ремонтом (ТОР) оборудования предприятий для интенсификации их эксплуатации, надежного возобновления и поддержки заданного уровня ТГ и рационального использования всех видов ресурсов[1]. Управление технической готовностью предприятия представляет собой совокупность организационных и технических мероприятий, направленных на получение своевременной, полной и достоверной информации с целью организации работ по поддержке состояния оборудования в установленной степени готовности.

Для принятия решения о том, когда, с помощью каких средств и в каком объеме требуется выполнить необходимые мероприятия на оборудовании, системах, в цехе, на участке и предприятии в целом, необходимо провести оценку технической готовности технических составляющих объекта (ТСО), темпа расходования ресурса основного оборудования и сделать прогноз расходования ресурсов на определенные плановые сроки, что в свою очередь, требует разработки (выбора):

критериев оценки ТГ, определяющих достоверность состояния оборудования и его технических составляющих;

методов и средств, позволяющих оперативно оценить ТГ и прогнозировать затраты ресурсов;

методов определения порядка и алгоритмов обработки и фиксации результатов оценки ТГ.

Отсутствие алгоритмов и процедур оценки и прогноза технической готовности единиц оборудования – в дальнейшем сложных технических систем (СТС) на разных этапах эксплуатации приводит к ресурсным потерям, которые взаимосвязаны с операциями восстановления элементов систем, имеющих достаточный запас назначенного ресурса, что приводит к дополнительным материальным и временным затратам.

В настоящее время недостаточно разработаны стратегия и рекомендации по выбору ресурсосберегающих режимов использования элементов систем, учитывающих заданную ТГ единиц промышленного оборудования, отдельных комплексов и предприятия в целом. Вышесказанное обуславливает актуальность и необходимость исследования проблемы оценки, анализа и рационального управления технической готовностью СТС.

Теоретическим и практическим аспектом совершенствования управления эксплуатацией и ремонтом оборудования промышленных предприятий отводится большое внимание в разных областях деятельности человечества [2,3]. Вместе с тем следует отметить, что при решении задач повышения эффективности функционирования СТС уровень формализованного представления зависимостей ремонтпригодности, технического состояния (ТС) и взаимосвязи ресурсов СТС недостаточен. Решение рассмотренной комплексной проблемы требует разработки методологических основ и систем и методов, которые основаны на базе математических моделей оценки технического состояния и технической готовности СТС.

В данной работе рассматриваются вопросы организации поддержки технической готовности сложных технических систем с применением математических моделей и современных компьютерных средств. Поддержка установленного уровня ТГ сложных технических систем – важнейший момент в безаварийной и эффективной эксплуатации оборудования, что связано с затратами технических ресурсов СТС и необходимостью их возобновления. Частичное возобновление уровня ТГ осуществляется в результате проведения

технического обслуживания (ТО), которое проводится с помощью эксплуатационного и ремонтного персонала СТС. Полные затраты ресурса объекта приводят к необходимости его восстановления путем проведения ремонта с выводом его из эксплуатации.

Изложение основного материала исследования. Динамическое равновесие между процессами восстановления ТГ при техническом обслуживании, ремонте и процессом его снижения в условиях эксплуатации отвечает уровню ТГ СТС. В условиях современного развития и совершенствования сложных технических систем существенно разнообразились способы их технического обслуживания и ремонта. Система ТОР представляет собой сложный комплекс, функционирование которого объективно связано с решением многомерных и трудноформализуемых задач учета и контроля, планирования и оперативного управления, координации развития и функционирования многочисленных звеньев системы ТОР любой отрасли промышленности. Для поддержки технического состояния ТСО на уровне, обеспечивающем эффективное выполнение круга задач и организации работ по предупреждению аварийности, необходимы знания фактического уровня ТГ – важнейшего фактора, от которого зависит эффективное управление процессом поддержки необходимой ТГ объектов.

Управление поддержки необходимого уровня ТГ - совокупность организационных и технических мероприятий, направленных на получение своевременной, полной и достоверной информации с целью организации работ по поддержке технических составляющих объекта в надлежащей степени готовности. Поэтому, прежде всего необходимо определить понятие готовности технических средств или технической готовности. Определим условия, в которых сложная техническая система имеет необходимую готовность (речь также может идти о подсистемах, оборудовании и отдельных устройствах).

Пусть на отрезке $(0, T]$ выделены момент t_p и задан соответствующий режим предусмотренного использования $p \in P$, где P – множество возможных режимов функционирования системы. Будем считать, что система имеет нужный уровень готовности, если в момент t_p режим p выполняется без ограничения. В противном случае уровень готовности считается нулевым. Множество режимов составляет структуру, то есть:

$$P = \bigcup_i P_i, \bigcap_i P_i = \emptyset, \quad (1)$$

где P_i - подмножество режимов, которые относятся к i -й стадии жизненного цикла системы (ЖЦС).

На отрезке $(0, T]$ можно задать значение $\Theta_p < t_p$, в котором определяется уровень ТГ с тем, чтобы в момент времени t_p выполнять предусмотренный режим p по восстановлению ТГ. Возможность выполнять режим p определяется состоянием системы $Sr(t_p)$, а это означает, что $p = p(Sr(t_p))$, где r - относительная готовность системы. Если заданы Θ_p , t_p и $p(Sr(\Theta_p)) > p(Sr(t_p))$, а также заданы ресурсы (состояние ресурсов, которые используются при управлении готовностью) $V(\Theta_p)$, тогда возникают две задачи.

1. Перевести систему из $Sr(\Theta_p)$ в $Sr(t_p)$ за время $|\Theta_p - t_p|$, если необходимые для этого ресурсы $V(Sr(\Theta_p); Sr(t_p); |\Theta_p - t_p|) \leq V(\Theta_p)$. При этом ресурсы должны быть использованы оптимальным образом, а понятия оптимальности определяется ранее.
2. Пусть $V(Sr(\Theta_p); Sr(t_p); |\Theta_p - t_p|) > V(\Theta_p)$. Тогда необходимо выбрать режим, относящийся к этой же стадии ЖЦС, наиболее близкий к требуемому режиму.

Независимо от типа задачи, необходимым условием для ее решения является наличие информации о $Sr(t)$, $t \in (0, T]$. Кроме того, необходимо иметь прогноз развития $Sr(t)$, $\Theta = t < T$, для того, чтобы предусмотреть определенную реакцию на конкретный альтернативный вариант развития состояния, и необходимую информацию о $V(t)$, прогноз затрат ресурсов для каждого варианта развития $Sr(t)$, поскольку в любой момент могут выполняться или будет необходимо выполнение определенных объемов работ по поддержке готовности.

Таким образом, готовность можно определить как состояние, из которого система может с заданной вероятностью перейти в любой режим, принадлежащий выделенному подмножеству режимов при наличии определенного количества ресурсов.

Принимая такое определение, можно выделить перечень проблем, связанных с поддержкой готовности:

- определение достоверности идентификации $Sr(t)$;
- определение действительного состояния $V(t)$;

- определение достижимости состояния $Sr(t_p)$ из $Sr(\Theta_p)$;
- расчет необходимых для этого ресурсов $V(Sr(\Theta_p); Sr(t_p); |\Theta_p - t_p|)$;
- конструирование гипотез о путях развития $Sr(t)$, $\Theta = t < T$;
- разработка решений о распределении и назначении ресурсов;
- разработка технологического процесса реализации решений и использования ресурсов;
- управление процессом перевода из $Sr(\Theta_p)$ в $Sr(t_p)$;
- информирование руководства о $Sr(t)$.

Готовность, таким образом, есть функция времени, состояния ЖЦС и ресурсов.

Для каждого режима функционирования системы характерно привлечение конкретного множества технических средств, при использовании которых обеспечивают или вхождение в новый (следующий) режим, или нахождение в текущем (заданном) режиме. Такое множество технических средств составляет целостную структуру с механическими, энергетическими и информационными связями. Тогда, готовность определяется знаниями о структурах технических средств, их характеристик и т.п., иначе говоря, знаниями о моделях технических средств системы и о значениях всех атрибутов. Эти знания могут быть зафиксированы в квалификации персонала или базы знаний информационного обеспечения систем поддержки и принятия решений.

Техническая готовность системы определяет возможность достижения цели, для которой создавалась система, то есть для достижения определенного эффекта. Снижение уровня готовности понижает эффективность системы или приводит, в некоторых случаях, к потерям, которые превышают не только стоимость средств поддержки готовности или самой системы, но и стоимость объекта, на котором такая система устанавливается.

Уровень ТГ можно характеризовать остаточным назначенным ресурсом ТСО, которые представляют собой установки, агрегаты, механизмы и прочее оборудование, которое обеспечивает работоспособность СТС в соответствии с назначением. Важным условием достоверности оценки ТГ является выявление закономерностей интенсивности затрат ресурса от условий и режимов эксплуатации путем специальной организации ресурсных испытаний,

целенаправленного сбора и обработки исследовательских данных о результатах диагностических операций ТОР.

В этом случае общую формализованную постановку задачи оценки и прогнозирования ТГ можно осуществить на основе ресурсно–диагностической модели технического состояния (РДМ ТС) следующим образом. Пусть существует функция изменения ТС объекта непрерывного или дискретного параметра t , которая характеризуется набором, или вектором признаков w , принадлежащих некоторому диагностическому пространству признаков W . Предположим, что существует некоторое решающее правило экстраполяции результатов измерения $w_1, \dots, w_k$ в моменты $t_1, \dots, t_k$, которые образуют множества $T_k = \{t_1, \dots, t_k\}$, $W(T_k) = \{w_1, \dots, w_k\}$. Обозначим $w(t/T_k)$ процесс, прогнозируемый на отрезке (t_k, t_{k+1}) , полученный с помощью правила экстраполяции. Тогда при условии существования области Ω_w в пространстве, соответствующем работоспособным состояниям объекта, для всех $t \in (t_k, t_{k+1})$, при которых $w(t/T_k) \in \Omega_w$, ТС будет также соответствовать работоспособности объекта. Для оценки влияния условий эксплуатации обозначим вектор внешних влияний $g(t)$, а вектор параметров объекта обозначим a . Договоримся также, что при оценке вектора признаков W становится известным вектор ошибок измерений $n(t)$. Кроме того, пусть существует вектор параметров системы измерений W и объекта b , что обеспечивает формирование некоторого вектора ТС объекта $u(t)$ с помощью функции $w = G(u, n, b)$. Тогда изменения ТГ будут характеризоваться дифференциальным уравнением: $du/dt = f(u, g, a)$, которое рассматривается в пространстве ТС – U . Вследствие этого существует область допустимых состояний в пространстве U , соответствующая Ω_w .

Таким образом, можно найти и $U(T_k)$, которое соответствует $w(T_k)$, и провести экстраполяцию процесса $u(t)$ на отрезке $(t_k, t_{k+1}]$. Аналогично можно утверждать, что ТС на отрезке $(t_k, t_{k+1}]$ не достигнет предельного состояния (ПС), если $u(t) \in \Omega_w$ при всех $t \in (t_k, t_{k+1}]$. Апостериорная вероятность достижения объектом ПС будет равняться $P(t/T_k) = P\{u(\tau) \in \Omega_w; \tau \in (t_k, t]/w(T_k)\}$. Поскольку задача рассматривается относительно прогнозирования работоспособного ТС, предел Ω_w должен соответствовать предельным

состояниям. Апостериорная функция распределения вероятности достижения ПС, которое отвечает фиксированным значениям процесса $U(T_k)$ на множестве T_k , будет равняться $P[t/u(T_k)] = P\{u(\tau) \in \Omega_w; \tau \in (t_k, t] / u(T_k)\}$. Можно записать:

$$P(t/T_k) = \int_{\Omega_{\omega}^k} P[t/u(T_k)]P[u(T_k)/w(T_k)]du(T_k), \quad (2)$$

где k - число моментов времени $t_1, \dots, t_k$, в которых происходили измерения процесса $w(t)$.

При значении допустимой вероятности достижения объектом ПС - $R_{\text{доп}}$. индивидуальный или остаточный ресурс $t_{\text{ост}}$ будет определяться неравенством $P(t_k + t_{\text{ост}}/T) \geq R_{\text{доп}}$. Предельно допустимый фактически остаточный ресурс можно найти из равенства $P(t_k + t_{\text{ост}}/T) = R_{\text{доп}}$. Информация, которая необходимая для оценки ТГ находится, главным образом, в результатах наблюдений $w(T_k)$, по значениям которых определяются оценки вектора состояния $\bar{u}(T_k) = (\bar{u}_1, \dots, \bar{u}_k)$, параметров объекта $\bar{a}$ и системы измерений $\bar{b}$. В этом случае идентификация ТС осуществляется с помощью соотношения $P(t/T_k) = P[t/\bar{u}(T_k)]$. Такая оценка есть более грубой в сравнении с оценкой, в которой используется функция распределения вероятностей. Функция распределения остаточного ресурса как показателя ТС и ТГ будет иметь вид: $F_{\text{ост}}(t_{\text{ост}}/T_k) = 1 - P(t_k + t_{\text{ост}}/T_k)$

Рассмотренные понятия и показатели отображают конструктивно-технологические особенности системы и их элементов как ресурсоносителей и зависят от приспособленности системы ТОР к выполнению возобновляемых операций.

Анализируя процесс эксплуатации и ремонта технических составляющих объекта можно выделить понятие текущей ТГ (ТТГ) и обобщенной ТГ (ОТГ).

Текущая ТГ рассматривается в пределах одного эксплуатационно-ремонтного цикла (ЭРЦ) СТС - повторяющегося периода, на протяжении которого осуществляются в определенной последовательности все виды технического обслуживания и ремонта. Для проведения ремонта СТС периодически выводятся из эксплуатации.

Обобщенная ТГ оценивается относительно периода эксплуатации и ремонта, (период может включать в себя несколько ЭРЦ).

Взаимосвязь понятий ТТГ и ОТГ состоит в следующем. В соответствии со структурой ЭРЦ технических составляющих объекта в указанные моменты времени проводится замена или ремонт его отдельных узлов и деталей. Таким образом, на каждом из этих интервалов будет скачкообразно возрастать ТТГ в результате восстановления ресурсов отдельных элементов, но не до первоначального значения G_0 , а до некоторого значения G_t , так как часть узлов и деталей ТСО осталась с неполными ресурсами трудоспособности. Не нарушив общности рассуждений, предположим, что уменьшение ТТГ в пределах каждого состояния эксплуатации происходит по экспоненциальному закону с параметром β , то есть $G = G_0 e^{-\beta t}$, а восстановление происходит до величины G_{wt} , характеризующейся степенью восстановления $k_b = G_{wt}/G_0$; $0 < k_b < 1$.

Величина возобновления ТТГ ΔG на каждом отрезке будет равняться $\Delta G = G_0(k_b - e^{-\beta t})$. Соответственно, общее описание процесса убывания и восстановления ТТГ можно представить в виде

$$G_{ti} = G_{i-1} e^{-\beta t_i} ; \Delta G_i = G_{i-1}(k_{bi} - e^{-\beta t_i}).$$

(3)

Текущая техническая готовность после i -го восстановления будет характеризоваться $G_{wti} = G_{i-1} k_{bi}$. В целом СТЗ как элемент системы будет функционировать до достижения ПС, при котором $G_{wt} = G_{пр}$. Обобщенный процесс потери первоначального уровня ТГ можно характеризовать пилообразной зависимостью $A = F(\beta_i, \Delta G_i)$.

Математическое ожидание времени перехода процесса A из $G_{пр}$ представляет собой функцию:

$$\bar{T} = \Phi(G_0, G_{пр}, A, k_{e1} \dots k_{en}). \quad (4)$$

Пусть общее снижение ОТГ описывается также экспонентой. Тогда можно записать:

$$G_{пр} = G_0 e^{-\theta_n \bar{T}_{mp}}. \quad (5)$$

Так как $G_{пр}/G_0 = e^{-\theta_n \bar{T}_{mp}}$, то после логарифмирования получаем:

$$\ln(G_{пр}/G_0) = -\theta_n \bar{T}_{mp}$$

Поэтому из (5) следует, что

$$\overline{T_{mp}} = (\ln(G_0 / G_{np})) / \theta_n. \quad (6)$$

Поскольку рассмотренный процесс является многофакторным, то как показано в (4), можно считать, что $\overline{T_{mp}}$ распределяется по нормальному закону. Учитывая, что процесс потери первоначального уровня ТГ описывается экспоненциальными зависимостями, а зависимость уровня ТГ системы с учетом запланированных работ по восстановлению ТГ имеет вид пилообразной функции, то при таких предположениях справедливы следующие соотношения:

$$G(t) = G_0 e^{-\beta t}, \quad G_i(t) = G_{i-1} e^{-\alpha_i(t-t_{i-1})}, \quad G_{i-1} = G(t_{i-1}), \quad t_{i-1} \leq t \leq t_i, \quad (7)$$

$$\int_0^{\overline{T_{mp}}} G(t) dt = \int_0^{t_1} G_1(t) dt + \int_{t_1}^{t_2} G_2(t) dt + \dots + \int_{t_{n-1}}^{t_n} G_n(t) dt, \quad (8)$$

$$\int_0^{\overline{T_{mp}}} G_0 e^{-\beta t} dt = \int_0^{t_1} G_0 e^{-\alpha_1 t} dt + \int_{t_1}^{t_2} G_1 e^{-\alpha_2(t-t_1)} dt + \dots + \int_{t_{n-1}}^{t_n} G_{n-1} e^{-\alpha_n(t-t_{n-1})} dt, \quad (9)$$

$$\frac{G_0}{\beta} (1 - e^{-\beta \overline{T_{mp}}}) = \frac{G_0}{\alpha_1} (1 - e^{-\alpha_1 t_1}) + \dots + \frac{G_{n-1}}{\alpha_n} (1 - e^{-\alpha_n t_n}), \quad (10)$$

$$\frac{1}{\beta} (1 - e^{-\beta \overline{T_{mp}}}) = \frac{1}{\alpha_1} (1 - e^{-\alpha_1 t_1}) + \frac{K_{b2}}{\alpha_2} (1 - e^{-\alpha_2 t_2}) + \dots + \frac{K_{bn}}{\alpha_n} (1 - e^{-\alpha_n t_n}), \quad (11)$$

$$P(\overline{T_{mp}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi K_t \overline{T_{mp}}}} e^{-\frac{(\overline{T_{mp}} - T)^2}{2 K_t^2 \overline{T_{mp}}^2}} \quad (12)$$

Можно установить, что для каждого объекта существует межремонтный ресурс, наработка которого требует ремонта для всех его элементов. Поэтому, ОТГ будет характеризоваться периодом использования, накопленными затратами на восстановление ТТГ, прогнозируемыми затратами на остаточный межремонтный ресурс $\overline{T_{mp}}$ или их соотношениями.

Выводы. Рассмотренная общая формализованная постановка задачи оценки допустимого уровня технического состояния в процессе управления технической готовностью обуславливает возможность эффективного использования ресурсно-диагностической модели технического состояния объектов, их элементов и подсистем при наличии количественной оценки влияния условий и режимов эксплуатации на интенсивность затрат назначенного ресурса и оценки фактических остаточных ресурсов. Использование таких

формализованных методик и моделей описания технического состояния объектов при создании специальных компьютерно-ориентированных программных средств дают возможность разработчикам и эксплуатационному персоналу проводить более достоверную оценку выполнения объектом предназначенных ему функций и более эффективно руководить процессом поддержки необходимой технической готовности объекта и его подсистем.

Следующим шагом рассмотрения этой проблемы есть выделение и обоснование критериев технической готовности сложных технических систем на разных этапах ее эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Светличный Петр Николаевич. Готовность информационно-измерительной системы / П. Н. Светличный. - Киев:КИЯИ, 1981. - 29 с
2. Абрамов О.В. Обеспечение безотказности систем ответственного назначения.// Информационные технологии в проектировании и производстве, 2000 – №4 – С. 14 –16.
3. Богатырев В.А. К оценке надежности систем из многофункциональных модулей // Автоматизация и современные технологии, 2001. –№6 – С – 12 – 15.
4. Корн Г. ,Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Г.:Наука, 1984 – 832 с.

Получено 28.11.2006 г.