

© Соболев Е.Г.  
Sobolev E.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ ВВТ

### METHODOLOGICAL ASPECTS OF INTEGRATED ASSESSMENT OPERATIONAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF AME OBJECTS

**Аннотация.** Приведены методические аспекты комплексной оценки эксплуатационно-технических свойств объектов ВВТ, включающие в себя понятийный аппарат, показатели, модели и структуру алгоритмов расчета показателей базовых и частных свойств объектов.

**Annotation.** Methodical aspects of the comprehensive assessment of the operational and technical properties of the objects AME include conceptual system, indicators, models and algorithms for the structure of basic and specific properties of objects.

**Ключевые слова.** Объекты ВВТ, эксплуатационно-технические свойства, базовые показатели, алгоритмы расчета.

**Key words.** AME objects, operational and technical characteristics, baseline, calculation algorithms.

Постоянное развитие средств и способов ведения боевых действий Сухопутными войсками ужесточает оперативно-тактические условия эксплуатации и восстановления объектов ВВТ, что предъявляет повышенные требования к эксплуатационно-техническим свойствам (ЭТС) объектов ВВТ.

Особое место при разработке и эксплуатации объектов ВВТ придается задаче оценки уровня ЭТС в условиях заданных ограничений. Основные методические аспекты оценки ЭТС ВВТ включают в себя понятийный аппарат, показатели свойств, комплекс взаимосвязанных моделей и алгоритмов оценки базовых и частных ЭТС объектов на стадиях разработки и эксплуатации в боевых условиях.

Под ЭТС объекта ВВТ понимается совокупность свойств, обуславливающих его приспособленность к приведению в установленную степень готовности к использованию по назначению, сохранению во времени в установленных пределах значений всех параметров, поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания (ТО) и ремонтов. ЭТС включают в себя такие сложные (базовые) свойства объектов, как надежность, восстанавливаемость, приспособленность к приведению в боеготовое состояние. Базовые свойства, в свою очередь, формиру-

ются на подмножествах простых (частных) свойств.

Надежность включает в себя в общем случае безотказность, долговечность, ремонтпригодность (собственно ремонтпригодность после отказов по техническим причинам и обслуживаемость) и сохраняемость.

Восстанавливаемость – свойство объекта, обуславливающее его приспособленность к восстановлению работоспособного состояния путем технической разведки, эвакуации и ремонта в заданных условиях эксплуатации и восстановления.

Приспособленность к приведению в боеготовое состояние – свойство объекта, обуславливающее его приспособленность к своевременному приведению в состояние полной готовности к применению по прямому назначению в заданных условиях эксплуатации.

Система показателей ЭТС объекта представляет собой многоуровневую структуру, основу которой составляет множество показателей базовых и частных свойств (см. таблицу).

Технологическая сущность расчета значений показателей ЭТС состоит в следующем. Комплексный показатель  $z$ -го базового свойства  $K_z$  формируется на подмножестве  $\{K_{zi}\}$  единичных показателей

$$K_z = \Omega_{zi}(\{K_{zi}\} \{y_z\} = const),$$

где  $K_z$  – комплексный показатель  $z$ -го базового свойства;

*Соболев Евгений Григорьевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, НИИЦ 3 ЦНИИ МО РФ, тел. 992-20-79;*

*Sobolev Evgeniy – doctor of technical science, professor, chief researcher, NIIZ 3 SRI MD RF, tel. 992-20-79.*

## Состав показателей эксплуатационно-технических свойств

Основное свойство	Базовое свойство	Частное свойство	Наименование показателя	Обозначение и размерность показателя
ЭТС	-	-	Обобщенный (комплексный) показатель ЭТС	$K_{\text{ЭТС}}$
-	Надежность	-	Комплексный показатель надежности	$K_{\text{Н}}$
-	Надежность при использовании	-	Коэффициент технического использования	$K_{\text{ТИ}}$
-	-	Безотказность при использовании	Осредненный параметр потока отказов по наработке	$\bar{\mu}_o (S_{\text{кр}}),$ ед./ км; $\bar{\mu}_o (T_{\text{кр}}),$ ед./ ч
-	-	Ремонтпригодность при устранении отказов по наработке	Среднее время восстановления работоспособного состояния	$\bar{t}_{\text{р(о)}},$ ч
-	-	Ремонтпригодность при плановых ремонтах по наработке	Средняя продолжительность планового ремонта $i$ -го вида (СР-1, СР-2) по наработке	$\bar{t}_{\text{ср-}i},$ ч
-	-	Обслуживаемость при использовании	Средняя продолжительность планового ТО $j$ -го вида по наработке	$\bar{T}_{\text{то-}j},$ ч
-	-	Долговечность при использовании	Назначенный ресурс (срок службы) до капитального ремонта	$S_{\text{кр}} (T_{\text{кр}}),$ км (ч)
-	Надежность при хранении	Сохраняемость	Удельная (на год хранения) продолжительность ТО и ремонтов	$t_{\text{уд(хр)}},$ ч/год
-	-	Безотказность при хранении	Осредненный параметр потока отказов при хранении	$\bar{\mu}_o (T_{\text{хр}}),$ ед./год
-	-	Ремонтпригодность при устранении отказов в процессе хранения	Среднее время восстановления работоспособного состояния при хранении	$\bar{t}_{\text{р(хр)}},$ ч
-	-	Обслуживаемость при хранении	Средняя продолжительность ТО $j$ -го вида при хранении	$\bar{t}_{\text{то(хр)-}j},$ ч
-	-	Долговечность при хранении	Назначенный срок хранения	$T_{\text{хр}},$ год
-	Восстанавливаемость	-	Комплексный показатель восстанавливаемости	$K_{\text{В}}$
-	-	Ремонтпригодность после боевых повреждений	Среднее время восстановления после боевых повреждений	$\bar{t}_{\text{р(б)}},$ ч
-	-	Эвакупригодность	Коэффициент эвакуационной совместимости со средством эвакуации	$K_{\text{Эс}}$
-	-	Приспособленность к технической разведке	Средняя продолжительность технической разведки	$\bar{t}_{\text{тр}},$ ч
-	Приспособленность к приведению в боеготовое состояние	-	Средняя продолжительность приведения в боеготовое состояние	$\bar{t}_{\text{бг}},$ ч
-	-	Подготавливаемость к выходу из парка по тревоге	Средняя продолжительность подготовки к выходу из парка по тревоге	$\bar{t}_{\text{бг(п)}},$ ч
-	-	Подготавливаемость к боевому применению	Средняя продолжительность приведения в состояние полной боевой готовности	$\bar{t}_{\text{бг(рс)}},$ ч

$K_{zi}$  –  $i$ -й единичный показатель  $z$ -го базового свойства;

$Y_z$  – подмножество параметров системного окружения, влияющих на проявление  $z$ -го свойства;

$\Omega_{zi}$  – знак оператора преобразования подмножества  $\{K_{zi}\}$ .

На множестве комплексных показателей базовых свойств формируется, в свою очередь, обобщенный показатель  $K_{эТС}$  ЭТС объекта

$$K_{эТС} = \Omega_z (\{K_z\} \{y\} = const),$$

где  $\Omega_z$  – знак оператора преобразования множества  $\{K_z\}$ .

Необходимый объем реализаций процессов в рамках оцениваемых ЭТС объектов, который обеспечит заданные доверительную вероятность результатов расчета и их точность, определяется известными методами математической статистики [1, 2].

Оценка ЭТС объектов ВВТ базируется на следующих основных концептуальных положениях:

- смешанный функционально-морфологический принцип декомпозиции процесса, состоящий в том, что номенклатура свойств и показателей объекта определяется путем расчленения ЭТС объекта на относительно самостоятельные (базовые и частные) свойства;

- блочно-модульный принцип агрегированного моделирования базовых процессов в виде многоуровневой системы взаимосвязанных автономных моделей и методик;

- алгоритмизированный принцип формализации моделируемых процессов, заключающийся в том, что частные процессы эксплуатации и восстановления описываются ограниченным числом типовых математических моделей, синтезируемых в сложный процесс посредством определенной схемы сопряжения частных моделей.

При расчете обобщенного показателя ЭТС устанавливаются следующие исходные данные:

- расчетные значения показателей базовых свойств ЭТС;
- коэффициенты весомости показателей базовых свойств ЭТС;
- эталонные значения показателей базовых и частных свойств ЭТС.

При определении комплексного показателя восстанавливаемости используются методы математического моделирования ремонта объекта после боевых повреждений [3]. В качестве исходной информации используются результаты моделирования обстрела и поражения объекта [4].

Для оценки показателей надежности, приспособленности к приведению в боеготовое состояние, эва-

копригодности и приспособленности объекта к технической разведке используются инженерные методы расчетов.

Для расчета ЭТС объекта используются следующие соотношения и формулы (математические модели):

а) *Формулы расчета обобщенного показателя ЭТС*

Обобщенный показатель ЭТС  $K_{эТС}$  определяется по формуле

$$K_{эТС} = q_n K_n + q_{бр} K_{бр} + q_b K_b, \quad (1)$$

где  $q_n, q_{бр}, q_b$  – коэффициенты весомости показателей базовых свойств ЭТС: надежности, приспособленности к приведению в боеготовое состояние, восстанавливаемости соответственно. Рекомендуемые значения коэффициентов:  $q_n = 0,50$ ;  $q_{бр} = 0,15$ ;  $q_b = 0,35$ ;

$K_n, K_{бр}, K_b$  – значения относительных показателей базовых свойств ЭТС.

Значения относительных показателей базовых свойств ЭТС определяются по формулам, которые имеют следующий общий вид:

$$K_i = \Pi_i / \Pi_{i(э)}, \quad (2)$$

где  $\Pi_i$  – абсолютное значение показателя  $i$ -го базового свойства оцениваемого объекта ВВТ;

$\Pi_{i(э)}$  – эталонное значение показателя  $i$ -го базового свойства.

б) *Формулы расчета комплексного показателя надежности:*

1) Комплексный показатель надежности  $K_n$  определяется по формуле

$$K_n = q_{н(исп)} K_{н(исп)} + q_{н(хр)} K_{н(хр)}, \quad (3)$$

где  $q_{н(исп)}, q_{н(хр)}$  – коэффициенты весомости показателей надежности при использовании и хранении соответственно. Рекомендуемые значения коэффициентов:

$$q_{н(исп)} = 0,80; \quad q_{н(хр)} = 0,20;$$

$K_{н(исп)}, K_{н(хр)}$  – значения относительных показателей надежности при использовании и хранении соответственно, которые определяются по формулам

$$K_{н(исп)} = K_{тн} / K_{тн}^э, \quad (4)$$

$$K_{н(хр)} = t_{уд(хр)}^э / t_{уд(хр)}, \quad (5)$$

где  $K_{тн}$  – коэффициент технического использования оцениваемого объекта;

$K_{тн}^э$  – эталонное значение коэффициента технического использования;

$t_{уд(хр)}$  – удельная продолжительность ТО и ремонтов в течение назначенного срока хранения оцениваемого объекта;

$t_{уд(хр)}^э$  – эталонное значение удельной продолжительности ТО и ремонтов в течение назначенного срока хранения.

2) Значение показателя надежности при исполь-

зовании (коэффициента технического использования  $K_{тн}$ ) определяется по формуле

$$K_{тн} = T_{кр} / (T_{кр} + t_{в}^{кр} + t_{сп}^{кр} + t_{то}^{кр}), \quad (6)$$

где  $T_{кр}$  – назначенный ресурс до капитального ремонта  $S_{кр}$ , трансформированный в категорию времени с учетом средней прогнозируемой скорости движения  $V_{ср}$  объекта, ч;

$t_{в}^{кр}$  – суммарное время восстановления работоспособного состояния (суммарная продолжительность текущих ремонтов) объекта за наработку до капитального ремонта, ч;

$t_{сп}^{кр}$  – суммарная продолжительность плановых средних ремонтов объекта за наработку до капитального ремонта, ч;

$t_{то}^{кр}$  – суммарная продолжительность ТО объекта за наработку до капитального ремонта, ч.

Суммарная продолжительность текущих ремонтов объекта за наработку до капитального ремонта  $t_{в}^{кр}$  определяется по формуле

$$t_{в}^{кр} = n_o(T_{кр}) \bar{t}_{р(о)} = \bar{\mu}_o(T_{кр}) T_{кр} \bar{t}_{р(о)}, \quad (7)$$

где  $n_o(T_{кр})$  – число отказов за наработку до капитального ремонта;

$\bar{t}_{р(о)}$  – среднее время восстановления работоспособного состояния при устранении отказов по нарботке, ч;

$\bar{\mu}_o(T_{кр})$  – осредненный параметр потока отказов за наработку до капитального ремонта.

Суммарная продолжительность плановых средних ремонтов объекта за наработку до капитального ремонта  $t_{сп}^{кр}$  определяется по формуле

$$t_{сп}^{кр} = \bar{t}_{сп-1} + \bar{t}_{сп-2}, \quad (8)$$

где  $\bar{t}_{сп-1}$ ,  $\bar{t}_{сп-2}$  – средняя продолжительность первого и второго соответственно планового среднего ремонта, ч.

Средняя продолжительность планового среднего ремонта определяется по формуле

$$t_{сп} = (k_{пз} k_{доп(i)} / k_{полн}) \sum_{\gamma=1}^Y n_{\gamma} t_{\gamma}, \quad (9)$$

где  $k_{пз}$  – среднее значение коэффициента подготовительно-заключительных работ, проводимых при среднем ремонте ( $k_{пз} = 1,15$ );

$k_{доп(i)}$  – среднее значение коэффициента дополнительных работ, проводимых при среднем ремонте  $i$ -го вида  $k_{доп(1)} = 1,35$ ;  $k_{доп(2)} = 2,10$ ;

$k_{полн}$  – коэффициент полноты учета сборочных единиц объекта;

$n_{\gamma}$  – количество сборочных единиц  $\gamma$ -го типа в конструкции объекта;

$t_{\gamma}$  – нормированная продолжительность замены сборочной единицы  $\gamma$ -го типа, ч;

$Y$  – количество типов сборочных единиц, восста-

навливаемых (заменяемых) при проведении планового среднего ремонта объекта.

Суммарная продолжительность технических обслуживания объекта за наработку до капитального ремонта  $t_{то}^{кр}$  определяется по формуле

$$t_{то}^{кр} = \sum_{j=1}^J n_{то-j}(T_{кр}) t_{то-j}, \quad (10)$$

где  $n_{то-j}(T_{кр})$  – число ТО  $j$ -го вида за наработку до капитального ремонта;

$t_{то-j}$  – средняя продолжительность ТО  $j$ -го вида, ч;

$J$  – число видов ТО, выполняемых за наработку объекта до капитального ремонта.

3) Значение показателя надежности при хранении (удельной продолжительности ТО и ремонтов  $t_{уд(хр)}$ ) определяется по формуле

$$t_{уд(хр)} = (\sum_{j=1}^J n_{то-j}(T_{кр}) \bar{t}_{то-j}) / T_{кр} + \bar{\mu}_o(T_{кр}) \bar{t}_{р(хр)}, \quad (11)$$

где  $T_{кр}$  – назначенный срок хранения, год;

$n_{то-j}(T_{кр})$  – число ТО  $j$ -го вида в течение назначенного срока хранения;

$\bar{t}_{то-j}$  – среднее время хранения ТО  $j$ -го вида, ч;

$\bar{\mu}_o(T_{кр})$  – осредненный параметр потока отказов в течение назначенного срока хранения, ед./год;

$\bar{t}_{р(хр)}$  – среднее время восстановления работоспособного состояния после обнаружения отказа при хранении, ч.

в) *Формулы расчета комплексного показателя приспособленности к приведению в боеготовое состояние*

Значение комплексного показателя приспособленности к приведению в боеготовое состояние  $K_{гр}$  определяется по формуле

$$K_{гр} = \bar{t}_{гр}^3 / \bar{t}_{гр}, \quad (12)$$

где  $\bar{t}_{гр}$  – эталонное значение средней продолжительности приведения объекта в боеготовое состояние, ч;

$\bar{t}_{гр}$  – средняя продолжительность приведения в боеготовое состояние оцениваемого объекта, ч.

Значение показателя  $\bar{t}_{гр}$  определяется по формуле

$$\bar{t}_{гр} = \sum_{y=1}^3 P_y (\bar{t}_{гр(ny)} + \bar{t}_{гр(рсу)}), \quad (13)$$

где  $P_y$  – относительная вероятность приведения объекта в боеготовое состояние в  $y$ -м интервале температур ( $P_1=0,4$  – в интервале температур выше плюс 5°C;  $P_2=0,4$  – в интервале температур от минус 25°C до плюс 5°C;  $P_3=0,2$  – в интервале температур от минус 40°C до минус 25°C);

$\bar{t}_{гр(ny)}$ ,  $\bar{t}_{гр(рсу)}$  – средняя продолжительность подготовки объекта к выходу из парка по тревоге и приведения в состояние полной боевой готовности в районе сосредоточения соответственно в  $y$ -м интервале температур.

2) *Формулы расчета комплексного показателя восстанавливаемости*

1) Значение комплексного показателя восстанавливаемости  $K_{в}$  определяется по формуле

$$K_b = q_{тр} K_{тр} + q_{эн} K_{эн} + q_{рп(б)} K_{рп(б)}, \quad (14)$$

где  $q_{тр}$ ,  $q_{эн}$ ,  $q_{рп(б)}$  – относительные коэффициенты весомости показателей частных свойств восстанавливаемости: приспособленности к технической разведке, эвакуационности, ремонтпригодности после боевых повреждений соответственно. Рекомендуемые значения коэффициентов:  $q_{тр} = 0,1$ ;  $q_{эн} = 0,3$ ;  $q_{рп(б)} = 0,6$ ;

$K_{тр}$ ,  $K_{эн}$ ,  $K_{рп(б)}$  – значения относительных показателей частных свойств восстанавливаемости, которые определяются по следующим формулам:

$$K_{тр} = \bar{t}_{тр}^э / \bar{t}_{тр}, \quad (15)$$

$$K_{эн} = K_{эс}^э / K_{эс}, \quad (16)$$

$$K_{рп(б)} = \bar{t}_{рп(б)}^э / \bar{t}_{рп(б)}, \quad (17)$$

где  $t_{тр}$ ,  $\bar{t}_{тр}^э$  – средняя продолжительность технической разведки оцениваемого и эталонного объекта соответственно, ч;

$K_{эс}$ ,  $K_{эс}^э$  – коэффициенты эвакуационной совместимости оцениваемого и эталонного объекта соответственно с подвижным средством эвакуации (ПСЭ);

$\bar{t}_{рп(б)}$ ,  $\bar{t}_{рп(б)}^э$  – средняя продолжительность ремонта оцениваемого и эталонного объекта соответственно после боевых повреждений, ч.

Вместо показателя  $\bar{t}_{р}$  для оценки ремонтпригодности объекта после боевых повреждений может использоваться показатель  $P(t_{р(3)})$  – вероятность восстановления в заданное время. Здесь и далее в обозначении показателя  $\bar{t}_{р(б)}$  нижний индекс (б) опущен.

2) Средняя продолжительность технической разведки объекта определяется по формуле

$$\bar{t}_{тр} = \bar{t}_{обн} + \bar{t}_{опозн} + \bar{t}_{тс}, \quad (18)$$

где  $\bar{t}_{обн}$ ,  $\bar{t}_{опозн}$ ,  $\bar{t}_{тс}$  – средняя продолжительность обнаружения, опознавания, определения технического состояния объекта соответственно, ч.

3) Значение коэффициента эвакуационной совместимости объекта с ПСЭ определяется по формуле

$$K_{эс} = q_{выт} K_{эс(б)} + q_б K_{эс(б)}, \quad (19)$$

где  $q_{выт}$ ,  $q_б$  – вероятности (коэффициенты значимости) выполнения типовых эвакуационных работ (вытаскивание и буксирование объекта соответственно) в заданных условиях эксплуатации. Рекомендуемые значения коэффициентов:  $q_{выт} = 0,3$ ;  $q_б = 0,7$ ;

$K_{эс(б)}$ ,  $K_{эс(б)}$  – коэффициенты эвакуационной совместимости объекта с ПСЭ при выполнении типовых эвакуационных работ: вытаскивании и буксировании объекта соответственно [5, 6].

Значение показателя  $K_{эс(б)}$  определяется по формуле

$$K_{эс(б)} = P_{в}^{тл} + (P_{в}^{пол} - P_{в}^{тл})(0,9 - 0,1r), \quad (20)$$

где  $P_{в}^{тл}$  – вероятность вытаскивания застрявшего объекта с использованием тяговой лебедки ПСЭ;

$P_{в}^{пол}$  – вероятность вытаскивания застрявшего объекта с использованием тяговой лебедки ПСЭ и полиспаста;

$r$  – количество блоков полиспаста.

Значение показателя  $P_{в}^{тл}$  определяется по формуле

$$P_{в}^{тл} = P_{в}(f_o^* \leq f_{тл}^*) = 1 - e^{-0,95 f_{тл}^*}, \quad (21)$$

где  $f_o^*$  – относительное сопротивление перемещению застрявшего объекта;

$f_{тл}^*$  – относительная (относительно силы тяжести объекта эвакуации) сила тяги лебедки ПСЭ. Значение  $f_{тл}^*$  определяется по формуле

$$f_{тл}^* = G_{тл} / G_o, \quad (22)$$

где  $G_{тл}$  – сила тяги лебедки ПСЭ, кН;

$G_o$  – сила тяжести объекта эвакуации, кН.

Значение показателя  $P_{в}^{пол}$  определяется по формуле

$$P_{в}^{пол} = P_{в}(f_o^* \leq f_{пол}^*) = 1 - e^{-0,95 f_{пол}^*}, \quad (23)$$

где  $f_{пол}^*$  – относительная (относительно силы тяжести объекта эвакуации) сила тяги лебедки, увеличенная с помощью полиспаста ПСЭ. Значение  $f_{пол}^*$  определяется по формуле

$$f_{пол}^* = G_{пол} / G_o, \quad (24)$$

где  $G_{пол}$  – сила тяги лебедки ПСЭ с полиспастом, кН. Значение  $G_{пол}$  определяется по формуле

$$G_{пол} = G_{тл}(r+1)\eta\alpha^r, \quad (25)$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия блока полиспаста ( $\eta = 0,95 - 0,96$ ).

Значение показателя  $K_{эс(б)}$  определяется достаточностью силы тяги на крюке ПСЭ для буксирования объекта в заданных дорожно-грунтовых условиях (ДГУ) с нормированными углами подъема и скоростью и зависит от функциональной совместимости  $K_{фс}$  буксировочных средств ПСЭ и объекта эвакуации [5, 6]. Оно определяется по формуле, приведенной в работе [6]

$$K_{эс(б)} = K_{фс} [q(\alpha)K_{д(\alpha)} + q(v)K_{д(v)}], \quad (26)$$

где  $K_{фс}$  – коэффициент функциональной совместимости буксировочных средств объекта и средства эвакуации;

$q(\alpha)$ ,  $q(v)$  – относительные коэффициенты значимости частных показателей  $K_{д(\alpha)}$  и  $K_{д(v)}$  соответственно. Рекомендуемые значения коэффициентов:  $q(\alpha) = 0,5$ ;  $q(v) = 0,5$ ;

$K_{д(\alpha)}$  – коэффициент достаточности силы тяги на крюке ПСЭ для буксирования объекта в заданных ДГУ с нормированными углами подъема  $\alpha$ ;

$K_{д(v)}$  – коэффициент достаточности силы тяги на крюке ПСЭ для буксирования объекта с нормированной скоростью в заданных ДГУ.

Значение показателя  $K_{д(v)}$  определяется по формуле

$$K_{д(v)} = \sum_{u=1}^U K_{фс u} q_u = q_r K_{фс}^r + q_{ж} K_{фс}^ж + q_m K_{фс}^m, \quad (27)$$

где  $K_{фс u}$  – коэффициент функциональной совместимости  $u$ -го типа буксировочных средств ПСЭ с объектом;

$q_u(q_r, q_{ж}, q_m)$  – относительная частота использования  $u$ -го типа буксировочных средств (гибкой, жесткой и механизированной сцепки соответственно) для буксирования объекта. Рекомендуемые значения коэффициентов:  $q_r = 0,7$ ;  $q_{ж} = 0,3$ ; с учетом механизированной сцепки  $q_r = 0,6$ ;  $q_{ж} = 0,25$ ;  $q_m = 0,15$ ;

$U$  – количество типов буксировочных средств в ПСЭ.

Значение показателя  $K_{д(\alpha)}$  определяется по формуле

$$K_{д(\alpha)} = (G_{д(\alpha)}^H / G_{п(\beta)}^\alpha), \quad (28)$$

где  $G_{д(\alpha)}^H$  – нормированное значение силы тяги ПСЭ (тягача) по двигателю на первой передаче, кН;

$G_{п(\beta)}^\alpha$  – необходимая сила тяги ПСЭ по двигателю для буксирования объекта в заданных дорожно-грунтовых условиях ( $f_c, \alpha$ ), кН;

$f_c$  – коэффициент сопротивления прямолинейному движению ПСЭ и объекта эвакуации при движении на подъеме;

$\alpha$  – заданный угол подъема, град.

Значение  $G_{п(\beta)}^\alpha$  определяется по формуле

$$G_{п(\beta)}^\alpha = (G_r + G_o) f_c \cos \alpha + \sin \alpha, \quad (29)$$

где  $G_r, G_o$  – сила тяжести ПСЭ и объекта эвакуации соответственно, кН.

Если  $G_{п(\beta)}^\alpha \leq G_{д(\alpha)}^H$ , то принимается  $K_{д(\alpha)} = 1,0$ .

Значение показателя  $K_{д(v)}$  определяется по формуле

$$K_{д(v)} = G_{д(\alpha)}^v / G_{п(\beta)}^v, \quad (30)$$

где  $G_{д(\alpha)}^v$  – значение силы тяги ПСЭ (тягача) по двигателю при движении с заданной скоростью  $V_3$  (определяется по тяговой характеристике ПСЭ), кН;

$V_3$  – заданная скорость буксирования объекта, км/ч.

Значение  $G_{п(\beta)}^v$  определяется по формуле

$$G_{п(\beta)}^v = (G_r + G_o) f_c (\alpha=0), \quad (31)$$

где  $f_c (\alpha=0)$  – коэффициент сопротивления прямолинейному движению ПСЭ и объекта эвакуации при движении по горизонтальному участку местности.

Если  $G_{п(\beta)}^v \leq G_{д(\alpha)}^v$ , то принимается  $K_{д(v)} = 1,0$ .

4) Средняя продолжительность ремонта  $\bar{t}_p$  (или вероятность восстановления в заданное время  $P(t_{p(3)})$ ) определяется путем статистического анализа результатов моделирования технологического процесса ремонта объекта после боевых повреждений.

5) Продолжительность ремонта поврежденного объекта  $t_{pj}^{(\xi)}$  определяется по формуле, приведенной в работе [7]:

$$t_{pj}^{(\xi)} = 1/K_{п(\alpha)} \sum_{\rho=1}^W t_{п\rho}^{(\xi)} P_{\rho}^1 + (K_{сн}(t)/K_{п(\alpha)}) \sum_{\rho=1}^W t_{з\rho}^* P_{\rho}^1 + 1/K_{п(\alpha)} \sum_{\rho=1}^W t_{вз\rho} P_{\rho}^1, \quad (32)$$

где  $t_{pj}^{(\xi)}$  ( $\xi=1, 2, 3$ ) – продолжительность ремонта объекта в  $j$ -м опыте ( $j$ -й реализации процесса поражения или отказа) при использовании  $\xi$ -го варианта проверки рабо-

тоспособности систем и сборочных единиц объекта, ч;

$\rho$  – обозначение номера дискретного сочетания поврежденных сборочных единиц объекта (дискретного случайного -состояния объекта);

$W$  – число возможных дискретных  $\rho$ -состояний объекта;

$t_{п\rho}^{(\xi)}$  – продолжительность поиска поврежденных сборочных единиц;

$t_{з\rho}^*$  – продолжительность замены поврежденных сборочных единиц;

$t_{вз\rho}$  – продолжительность восстановления поврежденных участков электрических цепей, ч;

$P_{\rho}^1$  – относительная вероятность  $\rho$ -сочетания поврежденных сборочных единиц объекта в  $j$ -м опыте;

$K_{сн}(t)$  – коэффициент, характеризующий увеличение объема (продолжительности) ремонта вследствие необходимости выполнения специальных и дополнительных работ при восстановлении поврежденного объекта;

$K_{п(\alpha)}$  – коэффициент полноты описания систем объекта;

$K_{п(\alpha)}$  – коэффициент полноты описания объекта (учета сборочных единиц);

$K_{п(\alpha)}$  – коэффициент полноты описания электрических цепей объекта.

б) Продолжительность поиска поврежденных сборочных единиц  $t_{п\rho}^{(\xi)}$  определяется в зависимости от способа (варианта) проверки работоспособности сборочных единиц специальных систем объекта (с применением или без применения средств диагностирования) с использованием формул, приведенных в работе [3].

7) С учетом возможности организации параллельных технологических процессов замены поврежденных сборочных единиц по  $q$ -м группам [3] продолжительность замены поврежденных сборочных единиц  $t_{з\rho}^*$  определяется по формуле

$$t_{з\rho}^* = \max t_{з\rho q}^* = \sum t_{\rho q}^*; q \in Q; \gamma(n_q^* - n_{dq}^*), \quad (33)$$

где  $t_{з\rho q}^*$  – продолжительность замены поврежденных сборочных единиц  $q$ -й группы, ч;

$Q$  – количество групп сборочных единиц объекта, определяющих возможность организации параллельных технологических процессов их замены;

$t_{\rho q}$  – продолжительность замены  $a'_{\rho q}$ -й сборочной единицы  $q$ -й группы при обеспеченном доступе к ней, ч;

$n_q^*$  – количество поврежденных сборочных единиц  $q$ -й группы (исключая сборочные единицы, замена которых учтена при определении  $t_{\rho}$ );

$n_{dq}^*$  – количество поврежденных сборочных единиц  $q$ -й группы, входящих в число предварительно снимаемых для обеспечения доступа к более труднодоступным

поврежденным сборочным единицам.

8) Продолжительность восстановления поврежденных участков электрических цепей  $t_{вз\dot{ж}p}$  определяется по формуле

$$t_{вз\dot{ж}p} = \sum_{\gamma=1}^k t_{вз\dot{ж}p\gamma}, \quad (34)$$

где  $k$  – количество элементов  $a''_{\gamma}$  (участков электрических цепей) в множестве  $\pi_{j\rho}^{**}$ ;

$t_{вз\dot{ж}p\gamma}$  – продолжительность восстановления  $a''_{\gamma}$ -го элемента (участка электрической цепи к  $a'_{\gamma}$ -й сборочной единице), ч.

9) Относительная вероятность  $\rho$ -сочетания поврежденных сборочных единиц объекта в  $j$ -м опыте определяется по формуле

$$P'_{j\rho} = P_{j\rho} / \sum_{\rho=1}^w P_{j\rho}, \quad (35)$$

где  $P_{j\rho}$  – вероятность дискретного  $\rho$ -сочетания поврежденных сборочных единиц объекта в  $j$ -м опыте, которая определяется по следующей формуле:

$$P_{j\rho} = \prod_{j\rho} P_{j\rho} \prod (1 - P_{j\rho}); \quad a'_{\gamma} \in \pi_{j\rho}^*; \quad a'_{\gamma} \notin \pi_{j\rho}^{**}, \quad (36)$$

где  $P_{j\rho}$  – вероятность поражения  $a'_{\gamma}$ -й сборочной едини-

цы в  $j$ -м опыте.

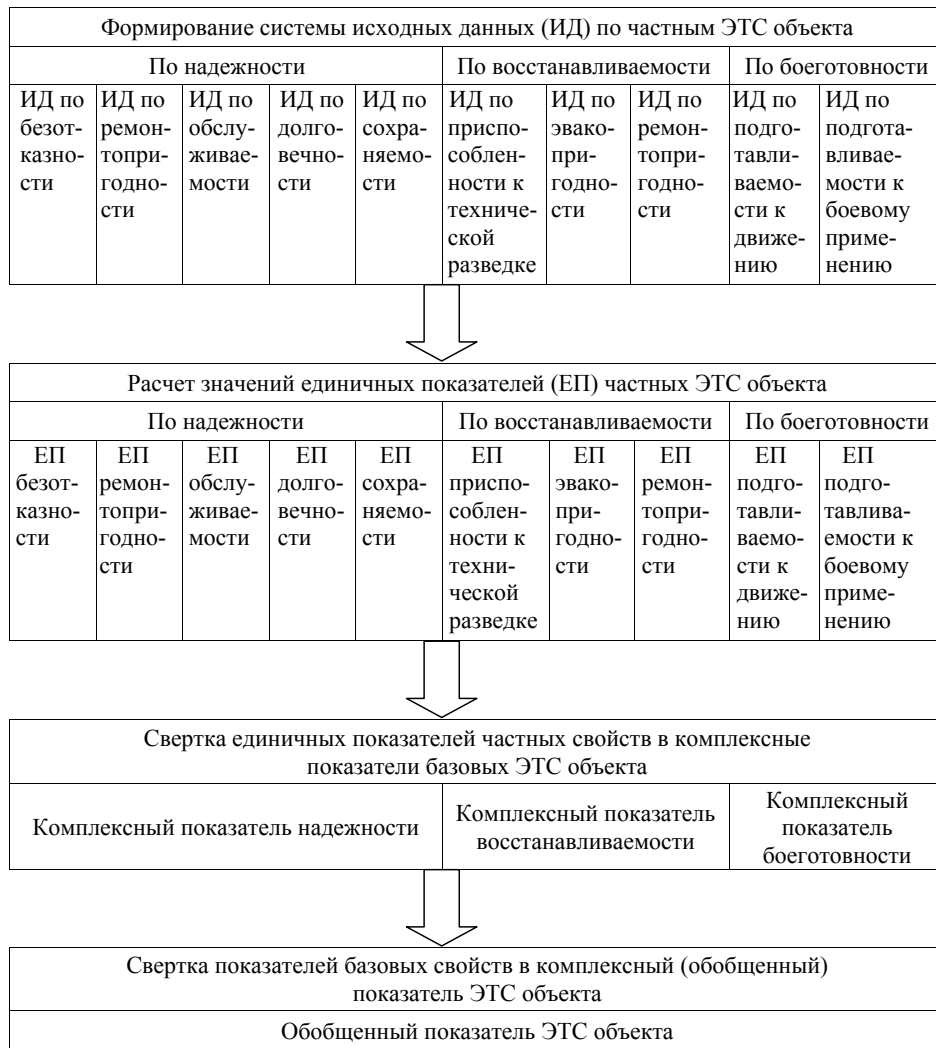
10) Коэффициент специальных и дополнительных работ  $K_{сн}(t)$  определяется степенной функцией вида

$$K_{сн}(t) = a(\bar{t}_3)^{-\sigma} + c, \quad (37)$$

где  $\bar{t}_3$  – средняя продолжительность замены поврежденных сборочных единиц (принимается равной  $t_{з\dot{ж}p}^*$ );

$a, \sigma, c$  – параметры уравнения. Значения параметров  $a, \sigma, c$  для различных образцов-аналогов ВВТ и аналогов средств поражения приведены в работе [6].

Порядок расчета показателей ЭТС объектов ВВТ определяется общей структурой методики, представленной на схеме (см. рисунок). Алгоритм расчета показателей ЭТС объекта имеет четко выраженную блочно-модульную структуру. При этом каждый блок и модуль выполняют строго определенные функции. Блоки и модули связаны между собой по входу и выходу. Это позволяет создать программу расчета, имеющую блочную структуру, в которой каждый блок алгоритма представляется самостоятельной подпрограммой.



Структура методики расчета показателей ЭТС объекта

Таким образом, предложенные методические аспекты расчета показателей ЭТС объектов ВВТ обеспечивают возможность оценки с использованием компью-

терных технологий уровня ЭТС при разработке и эксплуатации объектов.

*Литература*

1. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. М.: Наука, 1969. 400с.
2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учеб. Пособие для вузов. Изд. 6-е, стер. М.: Высш. шк., 1997. 479 с.
3. Соболев Е.Г. Обеспечение ремонтпригодности вооружения и военной техники (основы теории и методы): Изд. ФГУ «38 НИИИ МО РФ», 2010. 138 с.
4. Методика оценки живучести объектов ВВТ: ВНИИТМ, 1980. 105 с.
5. ГОСТ РВ 2350 - 002 - 2007 Буксировочные средства вооружения и техники. Общие технические требования.
6. Соболев Е.Г. Методы расчета показателей эвакуационной пригодности и эвакуационной способности вооружения и техники: Сборник рефератов депонир. рукописей специалистов Министерства Обороны. Серия Б. Вып. 79. М.: ЦВНИ МО РФ, 2007. 132 с.

Материал поступил в редакцию 02. 09. 2012 г.