

## Функциональная модель процессов эксплуатации и ремонта средств механизации морских торговых портов

*Одесский национальный политехнический университет*

Сформулирована задача логистической поддержки средств механизации, определен состав параметров, в достаточно полной мере характеризующих их техническое состояние, необходимые ресурсы для восстановления требуемой готовности средствами технического обслуживания и их ремонта. Обозначен ряд комплексных показателей, характеризующих эффективность системы поддержки эксплуатации СМ, являющийся функционалом безотказности, долговечности, ремонтпригодности. Определено, что эффективность системы поддержки эксплуатации характеризуется отношением  $\text{эффективность}/\text{стоимость}$ .

**Ключевые слова:** средства механизации, эксплуатация, логистическая поддержка, функциональная модель, параметры технической готовности, эффективность системы, ресурс.

Средства механизации (СМ) в процессе эксплуатации могут использоваться по циклам или эпизодически. Для СМ, применяемых по циклам, существуют малые и большие циклы. Совокупность малых циклов и капитальный ремонт составляют большой цикл, который в большинстве случаев (в зависимости от типа и класса СМ) составляет 10 лет. Функциональные модели процессов эксплуатации ремонта СМ рассмотрены применительно к СМ, используемым циклично [1].

Малый цикл включает следующие этапы и подэтапы. Составляют и утверждают план подготовки СМ. В соответствии с планом подготовки выполняют следующие мероприятия: формируют и представляют заявки на поставку и пополнение рабочих сред, предметов снабжения по текущей эксплуатации,

Большой цикл включает в себя  $n$  малых циклов и капитальный ремонт. Не останавливаясь на типовой модели малого цикла, рассмотрим лишь заключительный этап большого цикла, включающий следующие подэтапы.

На основании утвержденного плана ремонта СМ в течение года, предшествующему году постановки на ремонт, выводят из эксплуатации.

Разрабатывают и утверждают план подготовки СМ, включающий в себя такие мероприятия: разработка и согласование ремонтных ведомостей на проведение ремонтных работ с предварительной калькуляцией их стоимости. Постановка СМ на ремонт реализуют с проведением следующих мероприятий: дефектация систем и оборудования с окончательным согласованием ремонтных ведомостей и стоимости ремонта; составление и согласование генерального плана выполнения работ.

Диаграммы типовой функциональной модели жизненного цикла (ЖЦ) СМ разработаны в соответствии с рекомендациями по стандартизации [2] «Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Методология функционального моделирования» представлена в табл. 1, дано описание этих диаграмм.

Для решения сформулированных задач логистической поддержки следует определить состав параметров, в достаточно полной мере характеризующих

техническое состояние СМ, его готовность к использованию по прямому назначению, необходимые ресурсы для восстановления требуемой готовности, параметры, характеризующие свойства средств технического обслуживания и ремонта СМ и их способность выполнять заданные функции [3].

**Таблица 1**

**Функциональная модель процессов эксплуатации, ремонта, консервации и утилизации СМ**

Блок	Название блока	Описание блока
1	Ввод в эксплуатацию	Происходит планирование ввода СМ, поступающих из промышленности (после строительства или ремонта) или расконсервированных, в базе отрабатываются курсы подготовки, после чего СМ проходит испытания
2	Отработка задач подготовки к ПРР	Разрабатываются планы эксплуатации СМ для различных грузов и подготовки ГЗП, включающих сроки, места, исполнителей (операторов)
3	Планирование использования и обеспечения технической готовности СМ	Исходя из задач и фактического технического состояния СМ принимаются решения о графике их использования, а также решения о выводе СМ в резерв по ремонту в консервацию или списанию
4	Планирование ремонта СМ	На основании оценки технического состояния, межремонтных сроков и выделяемых ассигнований разрабатывается план ремонта СМ
5	Решение о списании СМ	На основании оценки технического состояния, срока службы и потребности в СМ принимается решение об их консервации или списании
6	Модернизация	Производится контроль физических характеристик и доведение их до требуемых
7	Проверка готовности к выходу из эксплуатации	Комиссия осуществляет проверку технического состояния СМ, навыков личного состава, обслуживающего СМ
8	Ремонт, модернизация или переоборудование	Проводится ремонт на предприятиях, а также оценку технического состояния СМ. Как правило, во время ремонта выполняется также модернизация
9	Разработка и согласование предварительных ремонтных ведомостей	На основании оценки текущего технического состояния СМ разрабатываются и представляются на согласование предварительные ремонтные ведомости
10	Дефектация и согласование ремонтных ведомостей	Производится дефектация и окончательное согласование ведомости ремонтных работ, определяется стоимость работ
11	Формирование генерального плана ремонта	МТП формирует и представляет на согласование генеральный план ремонта (модернизации, переоборудования) СМ
12	Ремонт систем и оборудования СМ	Выполняются ремонтные работы согласно ведомости: демонтаж, замену, настройку, проверку и т.п. По окончании ремонта заказчику предъявляются отремонтированные и модернизированные системы и оборудование для приемки
13	Контрольные испытания	После ремонта проводятся контрольные испытания для проверки значений основных характеристик СМ
14	Подготовка СМ к утилизации	Приходят разборка оборудования, демонтаж повторно используемых изделий и т.д. Сдача СМ для утилизации

Параметры технической готовности СМ и их оборудование - это сложные объекты с многоуровневой иерархической структурой, характеризующиеся

множеством качественно отличных друг от друга основных состояний  $\overline{V} = \overline{1, v^*}$  (использование по назначению, отказы, ТО и ремонты и т.п.), располагаемыми ресурсами, затратами и ресурсами, которые необходимы для восстановления технической готовности, а также совокупностью дополнительных характеристик для каждого из основных состояний.

В обобщенном виде текущее состояние СМ (его составной части) может быть описано вектор-функцией

$$\overline{z}(t) = \left[ \overline{I}(t), \overline{A}(t), v(t), \overline{z}_v(t) \right], \quad (1)$$

где  $\overline{I}(t)$  - совокупность идентификационных характеристик, определяющих конструктивно-функциональные признаки объекта;

$\overline{A}(t)$  - совокупность идентификационных характеристик, определяющих адрес объекта;

$v(t)$  - номер (индекс) основного состояния объекта;

$\overline{z}_v(t)$  - фазовые координаты пространства состояний объекта.

Фазовые координаты  $\overline{z}_v(t)$  характеризуют выработанные (или располагаемые) объектом ресурсы, затраты и ресурсы, потребные для восстановления его технической готовности, а также содержат дополнительные компоненты, предназначенные для описания объекта в каждом из основных состояний с необходимой степенью полноты.

Выработанные на момент  $t$  ресурсы определяются по следующей зависимости:

$$\overline{z}^R(t) = \left[ R_1(t), \dots, R_n(t) \right], \overline{z}^R(t) \subset \overline{z}_v(t). \quad (2)$$

Располагаемый  $i$ -й ресурс определяется, как разность  $R_i^* - R_i(t)$ , где  $R_i^*$  – граничное значение ресурса.

В достаточно общем виде выработанные ресурсы – это: наработка объекта - на различных режимах, в различных единицах измерения (часы, циклы, пуски-остановы) за различные периоды эксплуатации: полная, после ремонта, после ТО; срок службы объекта - с начала эксплуатации и после ТО и Р установленных видов; параметры, характеризующие физико-техническое состояние объекта и измеряемые с помощью средств технической диагностики.

В основных состояниях, соответствующих  $i$ -му виду ТО и ( $\rho = 1, \rho^*$ ), ресурсы, необходимые для восстановления объекта, достаточно полно характеризуются трудоемкостью работ ( $H_\rho$ ) и составом, требующим замены составных частей объекта ( $\overline{M}$ ):

$$\overline{z}^H(t) = \left[ H_\rho(t), \overline{M}(t) \right], \overline{z}^H(t) \subset \overline{z}_v(t) \quad (3)$$

Дополнительные компоненты, например, для описания отказа оборудования, - это причины, условия проявления, вид отказа, возможность и условия устранения и т.п. Для ТО и Р - это условия проведения ремонта, организация, выполнившая обслуживание или ремонт, и т.п.:

$$\bar{z}^D(t) = [D_{v1}(t), \dots, D_{k(v)}(t)], \bar{z}^D(t) \subset \bar{z}_v(t). \quad (4)$$

Переход СМ из одного состояния в другое происходит под воздействием внешних и внутренних причин [4]. Под воздействием условий эксплуатации изменяется основное состояние СМ при достижении вектором  $\bar{z}(t)$  одной из границ пространства состояний. Это может быть аварийный отказ основных систем, выработка срока службы или ресурса до предельного состояния, определяющего необходимость проведения соответствующего вида обслуживания, ремонта или списания, завершение обслуживания в одном из средств ТО и Р или окончание периодов проведения общетехнических мероприятий.

Численные значения перечисленных границ являются назначенными или устанавливаются согласно техническим условиям на поставку, или определяются как реализации случайных величин, исходя из функций распределения продолжительности использования СМ по прямому назначению, продолжительности общетехнических мероприятий, трудоемкости установленных видов ТО и Р, наработки оборудования на отказ. Типичные параметры технического состояния СМ и его оборудования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры технического состояния СМ и оборудования

Параметр	Единицы измерения	Граничное значение
<i>Оборудование</i>		
Наработка Наработка на определенном режиме	ч, циклы, пуски/ остановы, и т.п.	Ресурс полный Ресурс до заводского ремонта Энергоресурс Период непрерывной работы без технического обслуживания Случайная реализация функции распределения наработки на отказ (в общем случае $j$ -го типа, т.е. приводящий к $j$ -го типа последствиям с соответствующим видом ремонтно-восстановительных операций, $j = 1, j^*$ );
Диагностические параметры		Значения диагностических параметров, указывающие на предельные состояния изделия
Продолжительность эксплуатации	ч, год	Срок службы полный Срок службы до ремонта

Окончание таблицы 2

Параметр	Единицы измерения	Граничное значение
Потребляемый уровень мощности		Потребный уровень мощности $N^*(t)$
Трудоемкость технического обслуживания (ТО) и ремонтных работ	чел./ч	Трудоемкость ТО и Р
Текущая продолжительность ТО	ч	Продолжительность ТО
Текущая продолжительность восстановления после отказа	ч	Продолжительность восстановления после отказа
Состав замененных комплектующих		Состав комплектующих, требующих замены
Наработка основных систем	ч	Ресурс основных систем полный. Ресурс основных систем до заводского ремонта. Период непрерывной работы основных систем без технического обслуживания Годовая норма выработки ресурса основных систем
Продолжительность эксплуатации	год	Срок службы полный Срок службы до заводского ремонта Продолжительность эксплуатации до ремонта
Наличный состав ЗИП		Установленная норма комплекта ЗИП
Выполненный объем работ по ТО СМ различных видов	чел./ч	Трудоемкость ТО различных видов
Состав замененного оборудования, ЗИП		Состав оборудования и ЗИП, требующих замены

Для СМ необходимо, чтобы параметры, характеризующие их готовность к использованию по прямому назначению, удовлетворяли также следующим требованиям: остаток ресурса технических средств от годовой нормы расходования обеспечивает полную автономность; сроки проведения мероприятий по техническому обслуживанию, освидетельствованию, проверкам и испытаниям корпуса, устройств и систем, измерению физических полей, определению маневренных элементов СМ, проверке технических средств; запасы ГСМ, табельного имущества пополнены до установленных норм; укомплектованность операторами составляет не менее 75 % [5].

Совокупность  $\{\bar{z}_t\}_N$  по всему оборудованию характеризует техническое состояние СМ в целом в момент  $t$ .

Периодическая фиксация выработанных ресурсов  $\bar{z}^R(t)$ , ресурсов и материальных средств, затраченных на восстановление технической готовности  $\bar{z}^H(t)$ , дополнительных компонент состояния  $\bar{z}^D(t)$  дают возможность отслеживать техническое состояние, режимы использования объекта и условия его эксплуатации, а также внешние воздействия, направленные на восстановление вырабатываемых ресурсов путем проведения ТО и Р.

**Выводы.** Существует ряд комплексных показателей, характеризующих эффективность системы поддержки эксплуатации СМ. Это коэффициент технического использования, являющегося функционалом безотказности, долговечности, ремонтпригодности СМ, принятой системы их использования, технического обслуживания и ремонта. По определению

интегрированная логистическая поддержка - это комплекс процессов и задач, направленных на сокращение затрат, связанных с жизненным циклом изделия. Поэтому, наиболее полно эффективность системы поддержки эксплуатации, очевидно, будет характеризоваться отношением эффективность/стоимость.

#### Список литературы

1. Гранберг, А.Г. Математические методы оперативного управления производством [Текст] / А.Г. Гранберг. - М.: Статистика, 1978. – 504 с.
2. Болтянский, В.Г. Математические модели оптимального управления [Текст] / В.Г. Болтянский. - М.: Наука, 1969. – 408 с.
3. Транспортные системы. Моделирование и управление [Текст] / А.С. Бутов, Д.В. Гаскаров, А.Н. Егоров, Н.В. Круженина. - СПб.: Судостроение, 2001. – 552 с.
4. Глушков, В.М. Моделирование развивающихся систем [Текст] / В.М. Глушков, В.В. Иванов, В.М. Яненко. - М.: Наука, 1983. – 352 с.
5. Ивахненко, А.Г. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным [Текст] / А.Г. Ивахненко, Ю.П. Юрачковский. - М.: Радио и связь, 1987. – 120 с.

**Рецензент:** д.т.н., проф. Вартамян В.М., Национальный аэрокосмический университет им Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

Поступила в редакцию 14.10.2013

### **Функціональна модель процесів експлуатації та ремонту засобів механізації морських торговельних портів**

Сформульовано задачу логістичної підтримки, визначено склад параметрів, що характеризують технічний стан засобів механізації та необхідні ресурси для відновлення необхідної готовності засобами технічного обслуговування та їх ремонту. Позначено ряд комплексних показників, що характеризують ефективність системи підтримки експлуатації СМ, який є функціоналом безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності. Визначено, що ефективність системи підтримки експлуатації характеризується відношенням ефективність/вартість.

**Ключові слова:** засоби механізації, експлуатація, логістична підтримка, функціональна модель, параметри технічної готовності, ефективність системи, ресурс.

### **Functional model of processes of exploitation and repair of facilities of mechanization of marine trade ports**

The task of logistic support is set forth, composition of parameters characterizing the technical state of facilities of mechanization and necessary resources for renewal of the required readiness facilities of technical service and their repair is certain. We outline a number of integrated indicators of the efficiency of the operation support CM, which is a functional of reliability, durability, maintainability. It was determined that the efficiency of operation support systems characterized by the ratio performance / cost.

**Keywords:** mechanization, maintenance, logistics support, function model, the parameters of technical readiness, the effectiveness of the system, resource.