

Определение единичных показателей долговечности и ремонтпригодности и сохраняемости для заданной статистической совокупности объектов

**Показатели долговечности.** Данные показатели применяются для оценки надежности восстанавливаемых объектов, так как для невозстанавливаемых – понятия долговечности и безотказности идентичны. При этом долговечность объекта оценивается ресурсом и сроком службы.

*Ресурс* – наработка объектов от начала его эксплуатации или ее возобновления после капитального ремонта до наступления предельного состояния. Для объектов, прошедших капитальный ремонт, вводится понятие «средний ресурс между капитальными ремонтами».

*Срок службы* – календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после капитального ремонта до наступления предельного состояния.

Ресурс и срок службы могут быть назначенными, т.е. нормативными и указанными в технической документации, а могут

быть фактическими, складывающимися под влиянием случайных условий эксплуатации и свойств конкретной машины.

*Назначенный ресурс* – это суммарная наработка объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его технического состояния. В дорожно-строительной технике данный показатель применяют, например, при оценке надежности грузоподъемных кранов, грузозахватных устройств и приспособлений.

Различают ресурсы до первого капитального ремонта (доремонтный ресурс), между капитальными ремонтами (межремонтный ресурс) и до списания (полный ресурс).

Номенклатура показателей долговечности включает в себя четыре групповых (средний ресурс, средний срок службы, гамма-процентный ресурс и гамма-процентный срок службы) показателя.

*Средний ресурс и срок службы* – математическое ожидание ресурса и срока службы.

Средний ресурс и срок службы определяют по уравнениям:

$$\bar{T}_p = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_{pi}; \quad (1.28)$$

$$\bar{T}_{сл} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_{сли}, \quad (1.29)$$

где  $N$  – число наблюдаемых объектов данного типа;

$t_{pi}$  и  $t_{сли}$  – соответственно ресурс и срок службы  $i$ -го объекта.

*Гамма-процентный ресурс  $T_\gamma$*  – это суммарная наработка, в течение которой объект не достиг предельного состояния с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах. Другими словами, гамма-процентный ресурс показывает, что  $\gamma$  процентов машин данной модификации должны иметь наработку до предельного состояния не ниже  $T_\gamma$ . При этом величина  $\gamma$  является регламентированной вероятностью:

$$P(T_\gamma) = \frac{\gamma}{100}. \quad (1.30)$$

При  $\gamma = 100\%$   $T_\gamma$  называется безотказной наработкой. Для  $\gamma = 50\%$  ресурс называют медианным. Для тракторов и автомобилей принято нормативное значение  $\gamma$ , равное 0,8. Если, например,  $\gamma = 80\%$ , то соответствующий ресурс объекта до капитального ремонта называется «восьмидесятипроцентным ресурсом».

Гамма-процентный срок службы  $\tau_\gamma$  – это календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах. По аналогии с гамма-процентным ресурсом:

$$P(\tau_\gamma) = \frac{\gamma}{100}. \quad (1.31)$$

Значение гамма-процентного ресурса можно определить по интегральной кривой отказов или безотказности. Например, для определения 80%-го гамма-процентного ресурса на оси ординат (рис. 1.11.) следует найти значение 0,8, провести через эту точку горизонтальную линию до пересечения с интегральной кривой безотказности  $P(T_p)$ , точку пересечения спроектировать на ось абсцисс и получить отрезок  $T_p$ , который с учетом масштаба построения графика равен 80%-му гамма-ресурсу. Аналогично определяют гамма-процентный ресурс по кривой интегральной функции отказов, только вместо точки на оси ординат 0,8, следует найти точку, равную  $1 - \gamma = 1 - 0,8 = 0,2$ .

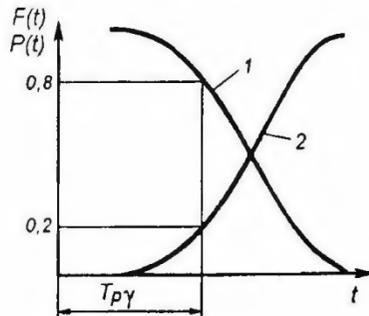


Рис.1.11. Определение 80%-го гамма-ресурса графическим методом по кривым интегральной функции безотказности (1) и отказов (2)

Аналитически гамма-процентный ресурс и срок службы находят по уравнениям:

При законе нормального распределения

$$T_{p\gamma} = \bar{T}_p - H_k(\gamma) \cdot \sigma; \quad (1.32)$$

$$T_{сл\gamma} = \bar{T}_{сл} - H_k(\gamma) \cdot \sigma, \quad (1.33)$$

где  $H_k(\gamma)$  – квантиль закона нормального распределения;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение.

При законе распределения Вейбулла

$$T_{p\gamma} = H_k^B(1 - \gamma) \cdot a + C, \quad (1.34)$$

$$T_{сл\gamma} = H_k^B(1 - \gamma) \cdot a + C, \quad (1.35)$$

где  $H_k^B$  – квантиль закона распределения Вейбулла;

$a$  – параметр закона распределения Вейбулла;

$C$  – смещение зоны рассеивания ресурса или срока службы.

**Показатели ремонтпригодности.** Рассмотрим следующие показатели.

*Среднее время восстановления* – математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа. Оно характеризует продолжительность вынужденного простоя, необходимого для поиска и устранения одного отказа. Его определяют по следующему уравнению:

$$\bar{T}_в = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n t_{вi}, \quad (1.36)$$

где  $n$  – число обнаруженных и устраненных отказов;

$t_{вi}$  – время восстановления  $i$ -го объекта.

При определении среднего времени восстановления оценивается свойство машины, а не организационно-технические факторы, влияющие на продолжительность простоя ее в ремонте (например, организация ТО и ремонта, квалификация ремонтни-

ков и др.). Поэтому для оценки надежности необходимо учитывать только технологическое (нормативное) время на ремонт.

*Гамма-процентное время восстановления* – время, в течение которого работоспособность объекта будет восстановлена с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

При законе нормального распределения времени восстановления гамма-процентное время восстановления

$$T_{в\gamma} = \bar{T}_в - H_\kappa(\gamma) \cdot \sigma. \quad (1.37)$$

При законе распределения Вейбулла

$$T_{в\gamma} = H_\kappa^B(1 - \gamma) \cdot a + C. \quad (1.38)$$

*Вероятность восстановления* – это вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданного.

Вероятность восстановления

$$P_в(t) = P(\bar{T}_в < t), \quad (1.39)$$

где  $\bar{T}_в$  – среднее время восстановления;  
 $t$  – заданное время устранения отказа.

Данная величина характеризует приспособленность объекта к проведению текущего ремонта при ограниченных затратах времени.

Для большинства изделий машиностроения вероятность восстановления подчиняется экспоненциальному закону распределения

$$P_в(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1.40)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов.

При расчете показателей ремонтпригодности учитывают лишь оперативное время обнаружения и устранения отказов.

*Интенсивность восстановления* – условная плотность вероятности восстановления работоспособного состояния объекта,

определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента восстановление не было завершено.

*Средняя трудоемкость восстановления* – математическое ожидание трудоемкости восстановления работоспособного состояния объекта после отказа. Ее рассчитывают так:

$$\bar{S}_в = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N S_{вi}, \quad (1.41)$$

где  $S_{вi}$  – трудоемкость восстановления  $i$ -го объекта за некоторый период эксплуатации.

Удельная суммарная трудоемкость технического обслуживания или ремонта, чел.-ч/ед. наработки,

$$\bar{S}_{то} = \sum_{i=1}^N S_{тоi} / \sum_{i=1}^N t_i, \quad (1.42)$$

или

$$\bar{S}_р = \sum_{i=1}^N S_{pi} / \sum_{i=1}^N t_i, \quad (1.43)$$

где  $S_{тоi}$  и  $S_{pi}$  – суммарная продолжительность (трудоемкость) технического обслуживания или ремонта  $i$ -го объекта за некоторый период эксплуатации;

$t_i$  – суммарная наработка  $i$ -го объекта за тот же период эксплуатации.

Удельная суммарная трудоемкость восстановления работоспособного состояния, чел.-ч/ед. наработки,

$$\bar{S}_в = \sum_{i=1}^N S_{вi} / \sum_{i=1}^N t_i, \quad (1.44)$$

где  $S_{вi}$  – суммарная трудоемкость непланового текущего ремонта (устранения отказов)  $i$ -го объекта за некоторый период эксплуатации.

Объединенная удельная трудоемкость технического обслуживания и ремонта, чел.-ч/ед. наработки,

$$\bar{S} = \sum_{i=1}^N S_i / \sum_{i=1}^N t_i, \quad (1.45)$$

где  $S_i$  – объединенная суммарная трудоемкость технического обслуживания и текущего ремонта  $i$ -го объекта за некоторый период эксплуатации.

К числу экономических показателей ремонтпригодности машин относят среднюю суммарную стоимость технического обслуживания (или отдельных операций). Данный показатель характеризует затраты труда, рабочего времени и материалов на проведение технического обслуживания.

**Показатели сохраняемости.** Сохраняемость оценивают сроком сохраняемости. Срок сохраняемости – это календарная продолжительность хранения и (или) транспортировки объекта, в течение и после которой сохраняются значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в установленных пределах.

Номенклатура показателей сохраняемости включает в себя два групповых показателя: средний срок сохраняемости и гамма-процентный срок сохраняемости.

*Средний срок сохраняемости* – математическое ожидание срока сохраняемости объекта. Его определяют по уравнению:

$$\bar{T}_c = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_{ci}, \quad (1.46)$$

где  $t_{ci}$  – срок сохраняемости  $i$ -го объекта.

*Гамма-процентный срок сохраняемости* – срок сохраняемости, достигаемый объектом с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

Гамма-процентный срок сохраняемости определяют аналогично гамма-процентному ресурсу или сроку службы по интегральной кривой отказности или безотказности или же по аналитическим уравнениям в зависимости от закона распределения срока сохраняемости совокупности объектов при законе:

нормального распределения

$$T_{c\gamma} = \bar{T}_c - H_k(\gamma) \cdot \sigma, \quad (1.47)$$

распределения Вейбулла

$$T_{c\gamma} = H_k^B(1 - \gamma) \cdot a + C. \quad (1.48)$$

Большое внимание обеспечению сохраняемости уделяют при создании машин сезонного использования, сменного рабочего оборудования и различных неметаллических элементов (резиновые шланги, пневматические камеры, покрышки и др.).