МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

ВНИИСТ

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДОСТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

РД 102-31-85

Москва 1985

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

ВНИИСТ

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДОСТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

РД 102-31-85

Москва 1985

УТВЕРЖДЕН: Министерством строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности от 17/IX 1984 г.

РАЗРАБОТАН: Всесоюзным научно-исследовательским институтом по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ)

ИСПОЛНИТЕЛИ: канд.техн.наук В.А.Савенко, инж. А.С.Ефимов (ВНИИСТ), д-р техн.наук проф. В.Л.Березин, д-р техн.наук проф. Л.Г.Телегин, кандидаты техн.наук Б.Н.Куренин, С.А.Горелов, Г.Г.Васильев, В.В.Орехов, Ю.С. Кукин (МИНХ и ГП им.Губкина).

СОГЛАСОВАН: Главнефтегазстроймеханизацией Миннефтегазстроя 6/IX 1984 г.

© Всесоюзный научно-исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ), 1985

УДК 69.002.5:621.643.002.2

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДОСТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН	РД 102-31-85
	Вводится впервые

Утвержден Министерством строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности 17.09.1984 г.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящий документ устанавливает общие требования к методам и порядку проведения оценки надежности общестроительных и специальных машин, применяемых в трубопроводном строительстве.

1.2. Оценка надежности общестроительных и специальных машин, используемых в трубопроводном строительстве, должна производиться для установления и контроля показателей надежности проектируемых или существующих машин.

1.3. Результаты оценки надежности машин и механизмов должны использоваться при выборе оптимального варианта проектируемой машины; выборе оптимальной стратегии технической эксплуатации и обслуживания машин и механизмов; выборе вариантов технологического оснащения потоков отдельных видов работ; оптимизации решений по организационно-технологической подготовке строительного производства; установлении и устранении факторов, приводящих к отказам машин.

1.4. Основные показатели надежности машин и механизмов и их определения должны приниматься в соответствии с ГОСТ 27.002-83 "Надежность в технике. Термины и определения".

2. РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

2.1. Основным критерием оценки безотказности машин и механизмов при сооружении магистральных трубопроводов является функция

$$P(t)=1-F(t)=\mathcal{P}(T>t), \qquad (1)$$

являющаяся вероятностью безотказной работы **за время** t . Статистическую формулу $\hat{P}(t)$ для вероятности **безотказной** работы рассчитывают по формуле

$$\hat{P}(t)=1-\frac{n(t)}{N_0}, \qquad (2)$$

где $n(t)$ – число элементов, отказавших за время t ;

N_0 – число элементов в начале работы (t = 0).

2.2. Средняя наработка на отказ представляет собой **математическое** ожидание случайной величины времени Т работы **элемента**, которая определяется зависимостью

$$T=M[T]=\int_0^\infty t\,f(t)\,dt \quad \text{или} \quad T=\int_0^\infty P(t)\,dt. \qquad (3)$$

Среднюю наработку на отказ $\hat{T}$ определяют **статистическим** методом по формуле

$$\hat{T}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} t_i, \qquad (4)$$

где t_i – наработка i -го элемента;

N – число рассматриваемых элементов.

2.3. Интенсивность отказов $\lambda(t)$ определяют по формулам:

<u>вероятностное определение</u>

$$\lambda(t)=-\frac{P'(t)}{P(t)}=-\frac{[1-F(t)]'}{1-F(t)}=\frac{f(t)}{1-F(t)}=\frac{f(t)}{1-\int_0^t f(\tau)\,d\tau}=\frac{f(t)}{P(t)}, \qquad (5)$$

где $P'(t)$ – производная по времени от функции $P(t)$;

<u>статистическое определение</u>

$$\hat{\lambda}(t)=\frac{\Delta n(t,\Delta t)}{N(t)\Delta t}, \qquad (6)$$

где $N(t)$ – число элементов, исправных к моменту времени t ;

$\Delta n(t,\Delta t)$ – число элементов, отказавших именно в интервале времени $[t,t+\Delta t]$ (на практике Δt должно быть достаточно мало, $\Delta n(t,\Delta t)$ – достаточно велико);

Δt – длительность интервала.

2.4. Вероятность безотказной работы и интенсивность отказов связаны между собой соотношением

$$P(t)=e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}. \qquad (7)$$

2.5. Критериями ремонтопригодности являются среднее время восстановления $t_в$ и вероятность восстановления $P_в(t)$

2.6. Среднее время восстановления машин определяют по следующим формулам:

вероятностное определение

$$t_в=\int_0^\infty t\,f_в(t)dt=\int_0^\infty t\,dF_в(t)=\int_0^\infty[1-F_в(t)]dt; \qquad (8)$$

статистическое определение

$$\hat{\tau}_в=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\tau_i, \qquad (9)$$

где N – общее число наблюдений;

τ_i – время восстановления при i -м отказе.

2.7. Комплексным показателем для оценки безотказности и ремонтопригодности машин является коэффициент готовности, расчет которого следует выполнять по следующим формулам:

вероятностное определение

$$K_г=\frac{T}{T+\tau}; \qquad (10)$$

статистическое определение

$$K_г=1-\frac{n(t)}{N}, \qquad (11)$$

где $n(t)$ – число машин, находящихся в состоянии отказа в произвольный момент времени t ;

N – общее число машин.

2.8. Коэффициент технического использования машин $K_т$ и определяют по формуле

$$K_{т.и}=\frac{T}{T+t_{рем}+t_{обсл}}, \qquad (12)$$

где $t_{рем}$ – простои машины в ремонте;

$t_{обсл}$ – простои машины в обслуживании.

2.9. Вероятность работоспособного состояни $P_г(t)$ машины определяют по формуле

$$P_r(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} \exp\{-(\lambda+\mu)t\}$$

или

$$P_r(t) = K_r + (1-K_r)\exp\left\{-\frac{\mu t}{K_r}\right\}; \qquad (13)$$

при $t \to 0$ $\quad P_r(t) \to 1$;

при $t \to \infty$ $\quad P_r(t) \to K_r$.

Время, в течение которого $P_r(t)$ близко к $P(t)$ и существенно отличается от $K_т$, тем меньше, чем выше безотказность работы машины и быстрее она восстанавливается.

2.10. Продолжительность периода неустановившейся эксплуатации определяется по формуле

$$t_{ну} = -\frac{\ell n K_{т н}}{\lambda} = \tau \ell n K_r . \qquad (14)$$

2.11. Показатели долговечности, не имеющие вероятностного определения, могут быть определены только статистическими методами. Расчетные уравнения для показателей долговечности приведены в табл.1.

3. СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О НАДЕЖНОСТИ МАШИН

3.1. Система сбора информации о надежности строительных машин предназначена для обеспечения полными статистическими данными по отказам машин.

3.2. Структура системы сбора статистической информации по надежности машин показана на рис.1. Уровень I устанавливает совокупность объектов исследований по надежности, анализ которого необходим для реализации целей исследований (уровень II) на различных стадиях создания и эксплуатации машин (уровень III).

3.3. Для организации системы сбора информации по надежности трубопроводостроительных машин следует использовать формы учета эксплуатационной информации о надежности машин. Содержание таких форм для всех отраслей машиностроения определяется

Расчетные уравнения для определения показателей долговечности машин

Показатели	Размерность	Расчетное уравнение	Значение параметров расчетных уравнений
Назначенный ресурс	Моточасы, машиночасы, число лет эксплуатации	$R_H = \frac{1}{N} \sum T_{дp_i}$ (в случае нормального закона распределения)	N – число наблюдаемых машин (повторность информации); $T_{дp_i}$ – время наработки до предельного состояния (ремонта определенного вида)
Средний ресурс	Моточасы, машиночасы, число лет эксплуатации	$\bar{R}_p = \sum_{i=1}^{N} T_{c_i} \cdot P_{оп_i}$ (в случае закона распределения Вейбулла)	T_{ci} – величина ресурса в середине i -го интервала статистического ряда; $P_{оп_i}$ – опытная вероятность
		$T_{мр} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} T_{мр_i}$	
		$\bar{T}_{мр} = \sum_{i=1}^{N} T_{c_i} \cdot P_{оп_i}$	T_{ci} – величина ресурса в середине i -го интервала статистического ряда; $P_{оп_i}$ – опытная вероятность;
		$T_{м.р} = a K_в + c$	а, в – параметры распределения Вейбулла
Гамма-процентный ресурс	Моточасы, машиночасы, число лет эксплуатации	$P(\gamma\%) = \bar{T}_{мр(д.р)} - H_к^в(\gamma) \delta^к$ (в случае нормального закона распределения)	$P(\gamma\%)$ – гамма-процентный (80%) ресурс; $T_{мр(д.р)}$ – межремонтный (доремонтный) ресурс; $H_к^в$ – наработка; $\delta^к$ – среднеквадратичное отклонение;
		$P(\gamma\%) = H_к^в(1-\gamma) a + c$ (в случае закона распределения Вейбулла)	c – сдвиг или смещение зоны начала рассеивания показателя надежности относительно нулевой точки (третий параметр закона распределения Вейбулла)

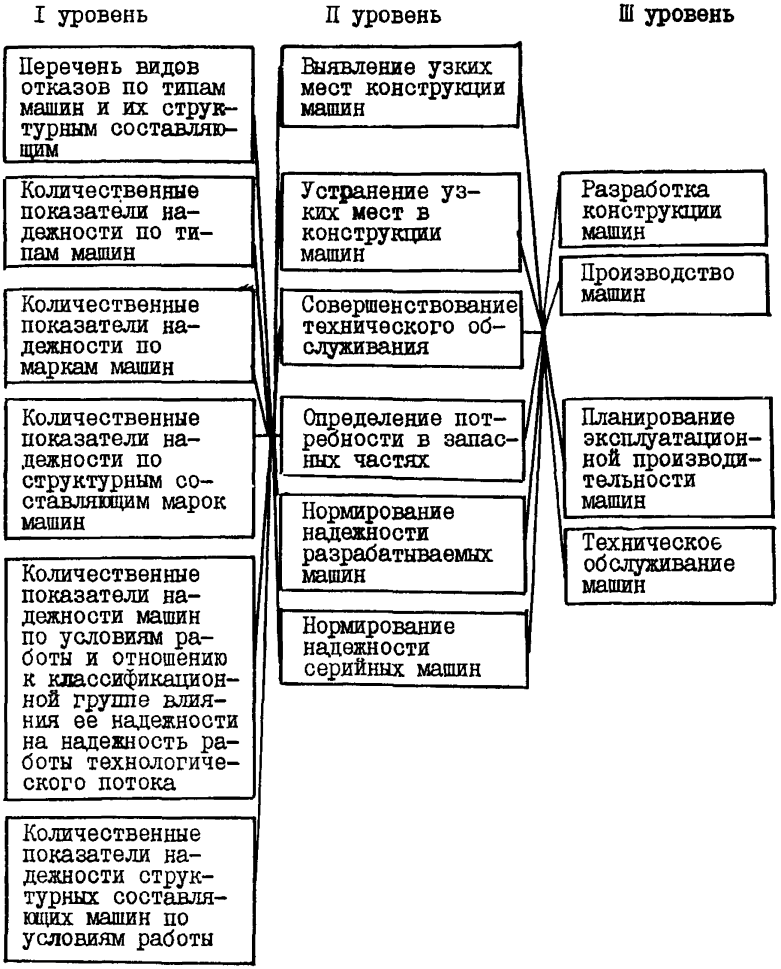

Рис.I. Система сбора информации по надежности машин

по ГОСТ 19490-74 "Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Формы учета результатов обработки эксплуатационной информации". Специфика трубопроводного строительства (высокая динамичность строительного процесса и непрерывное изменение условий строительства как по протяженности трассы, так и во времени) требует использования форм учета статистической информации о надежности трубопроводостроительных машин, приведенных в табл.I, 2 приложения.

3.4. Формы сбора эксплуатационных данных по надежности соответствуют плану испытаний $[N; M; T]$, т.е. испытанию (наблюдению) подвергается N машин; отказавшие во время испытания (наблюдения) машины восстанавливаются.

3.5. В том случае, когда исследования проводятся для получения среднеотраслевых количественных показателей надежности. объем наблюдений $N_{дост}$ следует определять с надежностью 0,95 по формуле

$$N_{дост} \geq \frac{2{,}72 \cdot S^2}{\bar{x}^2 \, \varepsilon^2}, \qquad (I7)$$

где $\bar{x}$ - среднее значение случайной величины выборки;

S - среднеквадратичное отклонение случайной величины;

ε - точность наблюдений.

Если исследование проводится для получения оценок влияния условий эксплуатации на показатели надежности, то объем выборки должен быть определен из условия, полученного из практики, по формуле

$$N_{дост} \geq 8(n+1), \qquad (I8)$$

где n - количество анализируемых видов условий эксплуатации.

3.6. Обработка эксплуатационной информации по надежности должна производиться традиционными методами математической статистики. Блок-схемы алгоритмов обработки эксплуатационной информации показаны на рис.2 и 3.

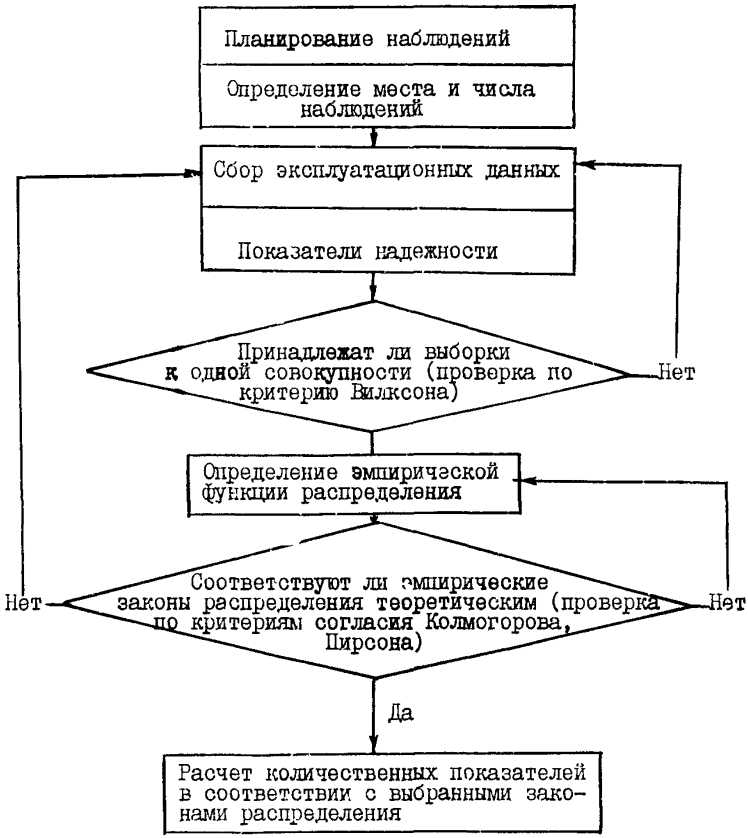

Рис.2. Блок-схема обработки эксплуатационной информации по надежности с целью получения среднеотраслевых показателей

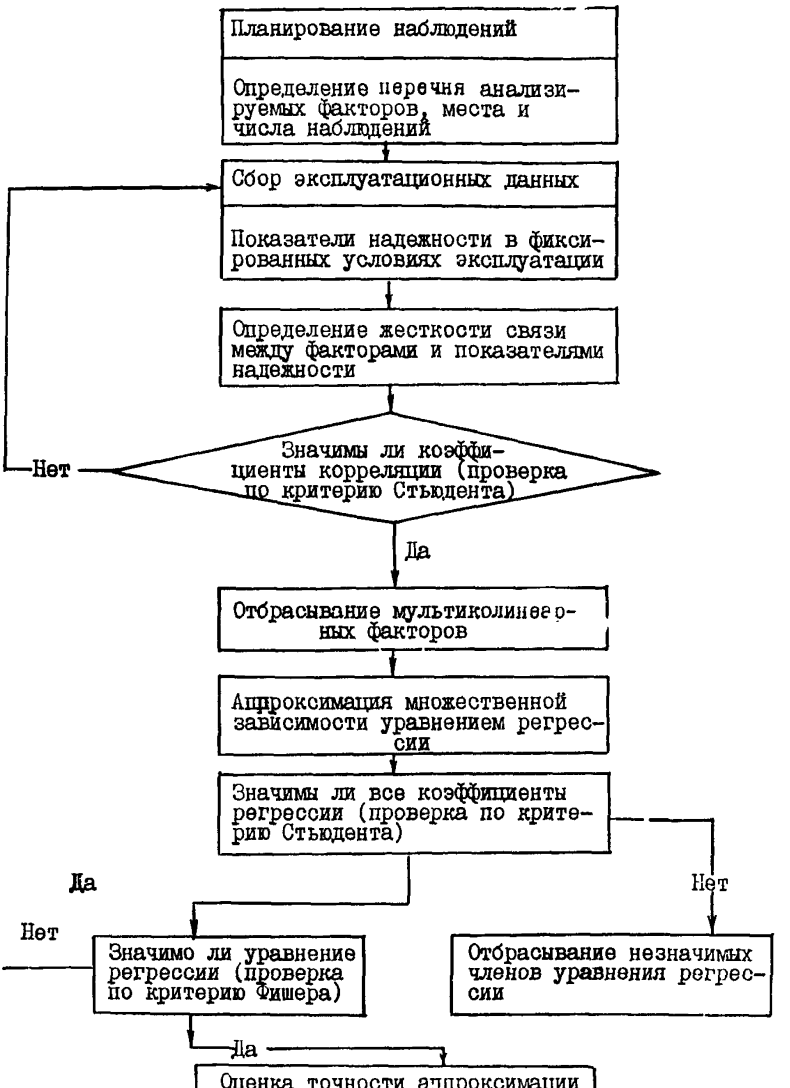

Рис.3. Блок-схема обработки эксплуатационной информации по надежности с целью получения зависимости показателей надежности от условий эксплуатации

4. ВЫБОР КРИТЕРИЯ ОТКАЗА МАШИН И МЕХАНИЗМОВ И ТРЕБОВАНИЯ К ПОКАЗАТЕЛЯМ НАДЕЖНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН

4.1. Под отказом машины понимается событие, заключающееся в нарушении ее работоспособности, т.е. машина считается отказавшей, если она не способна выполнять те функции, для которых она предназначена.

4.2. Используя данное определение критерия отказа машины, все множество состояний машины можно разделить на два подмножества: подмножество состояний работоспособности машины и подмножество состояний отказа машины.

4.3. Для оценки состояния машины в зависимости от состояния ее элементов следует производить декомпозицию машин на структурные составляющие.

4.4. Схема декомпозиции должна определяться целью и объектом исследования. Возможные варианты декомпозиции структурных составляющих конструкции машины приведены на рис.4.

4.5. Декомпозиция машины должна осуществляется следующим образом.

Множество элементов машины $\{n\}$ разбивается на два подмножества $\{m\}$ и $\{K\}$; $\{n\} \supset \{m\}$ и $\{n\} \supset \{K\}$.

Каждый элемент подмножества $\{m\}$ имеет два состояния: состояние работоспособности m_{i1} и состояние отказа m_{i0} (состоянию элемента m_{i1} соответствует работоспособное состояние машины, а состоянию элемента m_{i0} соответствует состояние отказа машины):

$$m_{i1} \in \{F\}, \quad m_{i0} \in \{G\}.$$

Каждый элемент подмножества $\{K\}$ имеет два состояния: состояние работоспособности K_{i1} и состояние отказа K_{i0} (любому состоянию элемента этого подмножества соответствует только одно – работоспособное состояние машины) ·

$$K_{i1} \in \{F\} ; \; K_{i0} \in \{F\} \quad \text{или} \quad \forall K_i \in \{F\}.$$

Тогда машина имеет только два состояния:

H_0' – все m элементов работоспособны;

H_1' – отказал хотя бы один m_i -й элемент.

Структурные составляющие	Цель исследования						
	Надежность машины	Надежность эксплуатации машины (индивидуальный ремонт)	Надежность эксплуатации машины (агрегатно-узловой ремонт)	Надежность сборочных единиц	Надежность деталей		
	Объект исследования						
	Безотказность	Безотказность, ремонтопригодность, долговечность		Безотказность	Прочность		
Машина	Система	Система	Система	-	-	Система	Система
Агрегатная система	Подсистема	Подсистема I уровня	Подсистема	Система	-	-	-
Ремонтный комплект	-	-	Элемент	-	-	-	Подсистема
Деталь	Элемент	Подсистема II уровня		Подсистема	Система	Подсистема	-
Структурная часть детали	-	Элемент	-	Элемент	Подсистема	-	-
Рабочая поверхность	-	-	-	Элемент	Элемент	Элемент	Элемент

Рис.4. Варианты декомпозиции структурных составляющих конструкции машины

Вероятность состояния работоспособности машины определяется выражением

$$P\{a \in \{F\}\} = \prod_{i=1}^{m} P_i . \qquad (19)$$

Если P_i – вероятность безотказной работы i -го элемента, то вероятность безотказной работы машины выразится формулой

$$P(t) = \prod_{i=1}^{m} P_i . \qquad (20)$$

Наработка машины на отказ имеет вид

$$T = \int_0^{\infty} P(t)\,dt . \qquad (21)$$

Учитывая, что вероятность безотказной работы общестроительных специальных машин подчиняется экспоненциальному закону, формулу (19) можно использовать в виде

$$P(t) = e^{-(\sum_{i=1}^{m} \lambda_i)t} \qquad (22)$$

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^{m} \lambda_i} . \qquad (23)$$

4.6. В соответствии с принятой схемой декомпозиции оценки состояния машины определяются состоянием подмножества элементов $\{m\}$, которое является индивидуальным для каждой марки машин и устанавливается по их структурным схемам.

4.7. Основные требования к надежности всей машины в целом должны определять требования к характеристикам надежности отдельных элементов.

Машины представляют собой системы со структурой сложной конструкции, структурные составляющие которых разнесены по различным уровням. Система не изотропна, так как структурные составляющие одного уровня имеют различные вероятности отказа.

4.8. Распределение заданного уровня показателей надежности (ПН) по элементам машины должно осуществляться из следующего неравенства:

$$f(ПН_1; ПН_2; \ldots; ПН_i) \geq ПН_{маш} , \qquad (24)$$

где

$ПН_i$ – величина показателя надежности i -го элемента машины;

$ПН_{маш}$ требуемая величина показателя надежности машины в целом.

f – функциональное отношение между показателями надежности машины и ее структурных элементов.

Требования к показателям надежности отдельных элементов машин предъявляют на основе декомпозиции машины и разделения всех ее элементов на два подмножества $\{n\}$ и $\{m\}$

4.9. Для элементов машины, отнесенных к подмножеству, устанавливается единый уровень требований к показателям надежности, который определяется из условия

$$\lambda_{in} \geq \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \lambda_{im}, \qquad (25)$$

где λ_{in} – заданная интенсивность отказов элементов подмножества $\{n\}$;

$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \lambda_{im}$ – средняя величина интенсивности отказов элементов подмножества $\{m\}$.

4.10. Требования к надежности элементов машины, отнесенных к подмножеству $\{m\}$, требуют использования весовых множителей, характеризующих ремонтопригодность и безотказность каждого элемента. С этой целью на основе статистических данных по отказам элементов машин-аналогов определяют средние значения интенсивностей отказов λ_i^a и интенсивностей восстановления μ_i^a. Для каждого элемента машины-аналога определяют коэффициент готовности.

Весовой множитель каждого элемента машины определяют по формуле

$$\omega_i = \frac{K_{r_i}^a}{\sum_{i=1}^{m} K_{r_i}}. \qquad (26)$$

Поскольку $\sum_{i=1}^{m} \omega_i = 1$ и $\sum_{i=1}^{m} \lambda_i \leq \lambda_{маш}$, где $\lambda_{маш}$ – требуемая интенсивность отказов всей машины, вычисление требуемой интенсивности отказов элементов машины, принадлежащих к подмножеству $\{m\}$, производят с помощью соотношения

$$\lambda_i \leq \omega_i \lambda_{маш}. \qquad (27)$$

В том случае, если в расчетах необходимо использовать другие показатели надежности, то они рассчитываются с учетом интенсивности отказов по стандартным формулам теории надежности.

4.11. Пример схемы декомпозиции роторных траншейных экскаваторов приведен на рис.5.

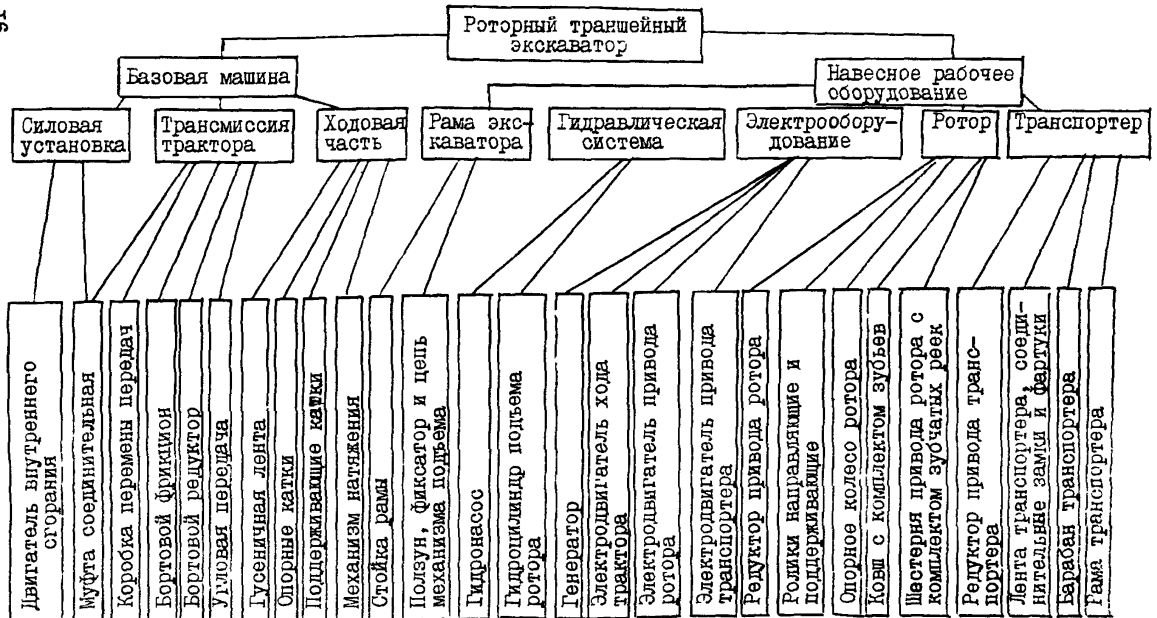

Рис.5. Пример схемы декомпозиции роторных траншейных экскаваторов (множество элементов $\{m$

Приложение

Таблица I

Форма учета эксплуатационных данных по надежности трубопроводостроительных машин

(эксплуатирующее предприятие) Машина (наименование, марка, тип и т.д.)

(предприятие-изготовитель) (период наблюдения) (число машин, находящихся под наблюдением)

Номер машины	Дата выпуска	Наработка с начала эксплуатации	Число ремонтов		Ресурс между ремонтами		Наработка на отказ	Время восстановления	Условия эксплуатации		
			текущих	капитальных	текущими	капитальными					
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2

Таблица 2

Форма учета эксплуатационных данных по надежности структурных составляющих трубопроводостроительных машин

(эксплуатирующее предприятие) (наименование, марка, тип и т.д.)

(предприятие-изготовитель (период наблюдений) (число машин, находящихся под наблюдением)

Наименование структурных составляющих машины	Номер отказавшего изделия	Вид отказа и его описание	Наработка с начала эксплуатации	Наработка на отказ	Время восстановления	Время простоя	Время ремонта	Место проведения ремонта	Условия эксплуатации		
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2

СОДЕРЖАНИЕ

I. Общие положения 3
2. Расчетные соотношения для определения показателей надежности 3
3. Система сбора и обработки информации о надежности машин 6
4. Выбор критерия отказа машин и механизмов и требования к показателям надежности отдельных элементов машин I2

Руководящий нормативный документ

Методы оценки надежности трубопроводостроительных машин

РД I02-3I-85

Издание ВНИИСТа

Редактор Ф.Д.Остаева
Корректор Г.Ф. Меликова
Технический редактор Т.В.Берешева

Л-68364 Подписано в печать 6/VI 1985г. Формат 60x84/16
Печ.л. 1,25 Уч.-изд.л. 1,0 Бум.л. 0,625
Тираж 450 экз. Цена 10 коп. Заказ 53

Типография ВНИИСТа

gost.e-ecolog.ru