МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬНОГО, ДОРОЖНОГО
И КОММУНАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ СССР

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО И ТРАКТОРНОГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ СССР

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ, ДОРОЖНЫЕ, КОММУНАЛЬНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТРАКТОРЫ

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Этап разработки технического задания
и технического проекта

РД 22/23-27.61-87

МОСКВА 1988

gost.e-ecolog.ru

Группа Г02

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ, ДОРОЖНЫЕ И КОММУНАЛЬНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТРАКТОРЫ

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Этап разработки технического задания и технического проекта

РД 22/23-27.61-87

Дата введения I.07.1988г.

Настоящий руководящий документ (РД) устанавливает порядок и методы расчета требований к показателям надежности машин и оборудования, их сборочных единиц и деталей на первых этапах проектирования и распространяется на изделия основной номенклатуры отрасли строительного, дорожного и коммунального машиностроения, а также на промышленные тракторы, выпускаемые предприятиями сельскохозяйственного и тракторного машиностроения.

© Всесоюзный научно-исследовательский институт строительного и дорожного машиностроения (ВНИИстройдормаш)

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Используемые в настоящем РД термины и основные понятия о надежности соответствуют государственным терминологическим стандартам.

I.2. Расчеты надежности на стадии проектирования выполняются с целью обеспечения соответствия предъявляемых требований к показателям надежности сборочных единиц и деталей требованиям к показателям надежности изделия в целом.

I.3. Номенклатура показателей надежности, подлежащих расчету на различных этапах проектирования, определяется государственными и отраслевыми стандартами на данную продукцию, документально оформленными техническими требованиями заказчика, стандартами типа ОТТ, техническими условиями и другой нормативно-технической документацией, включая стандарты и РД на показатели качества и показатели надежности.

ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ

$T_{сл.ср.}$ - средний срок службы в годах;

T_o - наработка на отказ в часах (км , $м^3$, т);

$P(t)$ - вероятность безотказной работы в период использования;

$S_{ео}$ - средняя оперативная трудоемкость ежесменного технического обслуживания, в чел-ч;

$C_{кзч}$ - удельная суммарная стоимость комплекта запасных частей основной номенклатуры - отношение средней суммарной стоимости комплекта запасных частей, потребляемых за полный срок службы промышленного трактора, к стоимости трактора (в оптовых ценах), %;

$\bar{S}_{отк}$ - удельная суммарная оперативная трудоемкость устранения последствий отказов промышленных тракторов, чел.ч/ед. наработки;

$\bar{S}$то - удельная суммарная оперативная трудоемкость периодического технического обслуживания в чел.ч/ед. наработки;

Кг - коэффициент готовности;

Кти - коэффициент технического использования;

Ког - коэффициент оперативной готовности;

И, У, Д - изделие, сборочная единица (узел), составная часть (деталь);

ТЗ,ТП,РП - этапы проектирования:
разработка технического задания,
разработка технического проекта,
разработка рабочего проекта.

I.4. Поэтапные оценки показателей надежности для машин, сборочных единиц и деталей указаны в табл. I.

Таблица I

Оценка нормируемых и расчетных показателей надежности по этапам проектирования

Нормируемые показатели надежности	Этапы проектирования								
	ТЗ			ТП			РП		
	И	У	Д	И	У	Д	И	У	Д
$T_{p\gamma}$	*	(-)		*	*	(-)	(*)	(*)	(*)
T_{pcp}	(-)	(-)		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(*)
$T_{сл.ср}$	(-)			(-)			(-)		
T_{o}	+	*		*	*		*	(*)	(+)
$P(t)$	+	*		*	*		*	(*)	(+)
$\bar{S}_{eo}$	(+)			*	*		*	*	
$\bar{C}_{кзч}$	(+)			(+)			*	*	(+)
$\bar{S}_{отк}$	(+)			(+)			*	*	(+)
$\bar{S}_{то}$	(+)			*			*		
$K_{г}$	(+)			*			*		
$K_{ти}$	(+)			*			*		
$K_{ог}$	+			*			*		

Условные обозначения, принятые в табл.I:

$T_{p\gamma}$ – гамма-процентный ресурс до предельного состояния, оговоренного в НТД, в часах (км, $м^3$, т);

T_{pcp} – средний ресурс до предельного состояния, оговоренного в НТД, в часах (км, $м^3$, т);

(-) – требования не нормируются, показатель расчетный;

\+ – требования нормируются без расчета;

(+) – требования нормируются на основе предварительной информации;

* - нормируемые требования обосновываются расчетом;

(*) - нормируемые требования обеспечиваются расчетом.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ НАДЕЖНОСТИ

2.I. Расчет надежности машин при проектировании производится в следующем порядке:

при разработке технического задания на проектирование машины выполняются расчеты по обоснованию требований к показателям надежности сборочных единиц (узлов) и машины в целом;

при техническом проектировании выполняются расчеты по обоснованию требований к ресурсным показателям деталей и корректируются требования к показателям надежности машины и сборочных единиц;

при рабочем проектировании выполняются расчеты по обеспечению требований к ресурсам деталей по критериям их прочности и корректируются требования к показателям надежности машины и её сборочных единиц.

2.2. Расчетное обеспечение требований к показателям надежности деталей, сборочных единиц и машины в целом производится с целью корректировки значений нормируемых показателей надежности и разработки мер по техническому и технологическому обеспечению надежности машины, а также с целью подготовки исходной информации для расчета объемов производства запасных частей.

2.3. Результаты расчета надежности на стадии изготовления изделия должны быть подтверждены экспериментально (на стендах или в эксплуатации).

2.4. Расчет показателей надежности является обязательным, поскольку на его его основании при изготовлении и в эксплуатации осуществляется контроль выполнения требований к этим показателям и определяются пути дальнейшего повышения надежности машин.

2.5. При выборе показателя надежности для включения в НТД должна учитываться возможность его количественной оценки при изготовлении и эксплуатации создаваемого изделия.

3. ЭТАП ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ — РАСЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ К ПОКАЗАТЕЛЯМ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

3.I. Основные обозначения, принятые в данном разделе РД:

T_a - средний срок службы изделия до списания, амортизационный срок, полный средний срок службы;

$K_и$ - общий коэффициент использования машины во времени;

$K_{иг}$ - коэффициент использования машины в течение года;

$K_{ид}$ - коэффициент использования машины в течение суток;

K_c - коэффициент использования машины в течение смены;

K_i - коэффициент использования сборочной единицы в рабочих и вспомогательных операциях машины;

$K_{см}$ - коэффициент сменности работы машины;

ν - коэффициент вариации величины ресурса;

γ - вероятность обеспечения ресурса в процентах;

K_γ - отношение среднего и гамма-процентного ресурсов;

T_i - средняя наработка машины до предельного состояния i-той сборочной единицы;

$T_{\gamma i}$ - гамма-процентная наработка машины до предельного состояния i-той сборочной единицы;

$Z_{кр}$ - минимальные оперативные затраты на восстановление работоспособности машины после предельного состояния;

α - отношение оперативных затрат текущего ремонта машины к оперативным ремонтным затратам после её предельного состояния;

к - число ремонтных циклов;

С - коэффициент сокращения ремонтного цикла;

R_i - ранг ремонтных затрат i-той сборочной единицы.

3.2. Исходными данными для проведения расчета являются:

- значение заданного гамма-процентного ресурса $T_{p\gamma}$ до предельного состояния машины в целом;

- компоновочное решение проектируемой машины (состав и способы сочленения сборочных единиц);

- предполагаемые виды законов и коэффициенты вариации распределений ресурсов машины и сборочных единиц.

3.3. Расчет требований к показателям долговечности на стадии технического задания выполняется в следующем порядке:

- устанавливаются критерии предельного состояния машины и сборочных единиц;

- определяется средний ресурс машины;

- определяются ремонтные затраты по критериям предельного состояния машины и проектируемых сборочных единиц;

- составляется структурная схема надежности машины;

- определяются средние и гамма-процентные ресурсы сборочных единиц;

- составляется таблица требований к ресурсным показателям сборочных единиц.

3.4. Критерий предельного состояния формулируется разработчиком проектируемого изделия и зависит от назначения этого изделия, возможности его использования в составе более сложных изделий или комплексов, а также от степени существенности последствий предельного состояния.

3.4.I. Для изделий ремонтируемого класса, используемых автономно, критерием предельного состояния служат трудовые затраты (или продолжительность восстановления), минимально необходимые для устранения причин предельного состояния:

Если такие затраты целесообразны - выполняется капитальный ремонт;

если затраты нецелесообразны - изделие подлежит списанию (замене, выбраковке).

Целесообразность капитального ремонта определяется наличием высокой потребности в изделиях данной модели и невозможностью обеспечения ресурса, достаточного для работы изделия в течение всего срока службы.

3.4.2. Для изделий ремонтируемого класса, используемых в составе более сложных изделий, кроме критериев предельного состояния по п. 3.4.I, может быть применен критерий снижения эффективности функционирования изделия ниже допустимого уровня, которая не может быть повышена текущим ремонтом (например, снижение ниже допустимого предела КПД механизма, производительности, скорости, мощности, увеличение выше нормы вибрации, шума и т.д.).

3.4.3. Для комплекса изделий, выполняющего работы по единому технологическому процессу, критериями предельного состояния являются:

а) снижение эффективности функционирования в результате прогрессивного увеличения стоимости восстановления работоспособности оборудования, входящего в комплекс;

б) снижение эффективности функционирования в результате неустраняемой потери качества конечной продукции технологического процесса.

3.4.4. Для изделий неремонтируемого класса критерий предельного состояния совпадает с критерием отказа. Для этих изделий показатель долговечности (ресурс) равен наработке до первого отказа.

3.5. Для изделий ремонтируемого класса, при оценке надежности которых используется критерий предельного состояния по минимуму трудовых затрат на восстановление работоспособности (п.3.4.I), требования к показателям долговечности определяются в следующей последовательности.

3.5.I. Средний ресурс до предельного состояния определяется по величине амортизационного срока службы

$$T_{р.ср} = \frac{T_а \cdot 8760 \cdot K_и}{\sum C^{к-I}} , \qquad (I)$$

где $K_и = K_{иг} \cdot K_{ид} \cdot K_с$

$$K_{иг} = \frac{\text{число дней работы в году}}{365} ;$$

$$K_{ид} = \frac{\text{часовая продолжительность рабочего дня}}{24} = \frac{K_{см}}{3}$$

- при односменной работе $K_{ид} = 0,34$;
- при двухсменной работе $K_{ид} = 0,67$;
- при непрерывной работе $K_{ид} = I$;

$$K_с = \frac{\text{фактическое время работы машины в смене}}{8} .$$

Значения $K_{иг}$, $K_{ид}$, $K_с$ для ряда машин даны в приложении I, значение C принимать в интервале от 0,8 до 0,9, а значения T_α даны в приложении 2.

Если проектируемое изделие должно работать до списания без

капитального ремонта, то в формуле (I) принимать К = I.

Средний и гамма-процентный ресурсы должны находиться в соотношении

$$T_{р.ср.} = T_{р\gamma} \cdot K_{\gamma} \qquad (2)$$

где коэффициент K_{γ} определяется по номограммам (черт.I-5) в зависимости от заданного значения γ, закона распределения ресурса и его коэффициента вариации ϑ. Ключ к номограммам показан на черт. 4.

Значение ϑ и вид закона распределения ресурса принимаются исходя из табл. 2 в тех случаях, когда отсутствует информация о распределении ресурса изделия-аналога.

3.5.2. Минимальные предельные ремонтные оперативные затраты ($Z_{кр}$) определяются по затратам агрегатно-узловой технологии капитального ремонта машин или же составляют их долю ($\Delta_{пр}$).

Справочные нормативы ремонтных затрат на слесарные операции даны в приложении 3.(допускается использовать заводские нормативы).

$$Z_{кр} = (Z_{подг} + Z_{разб} + Z_{сб} + Z_{закл})\Delta_{пр} \quad , (3)$$

где $Z_{подг}$ - оперативные затраты на подготовительные операции (очистка машины, мойка, слив ГСм);

$Z_{разо}$ - оперативные затраты на поузловую разборку машины;

$Z_{сб}$ - оперативные затраты на сборку машины из новых или заранее отремонтированных узлов;

$Z_{закл}$ - оперативные затраты на заключительные операции после сборки (регулировка, испытание, окраска);

$\Delta_{пр}$ - коэффициент сокращения минимума предельных ремонтных затрат $\Delta_{пр} \leqslant I$.

Оперативная продолжительность подготовительных работ при

капитальном ремонте проектируемой машины принимается по опыту ремонта машин-аналогов и включает в себя следующие операции:

- чистку, мойку машины;
- слив горюче-смазочных материалов;
- постановку машины на пост для разборки.

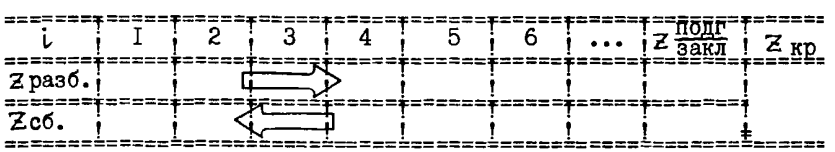
Оперативная продолжительность полной разборки машины оценивается по демонтажным работам при агрегатно-узловой технологии ремонта.

Оперативная продолжительность сборки машины оценивается по монтажным операциям всех узлов машины из новых или заранее отремонтированных с необходимым набором наладочных и регулировочных технологических переходов при монтаже узлов.

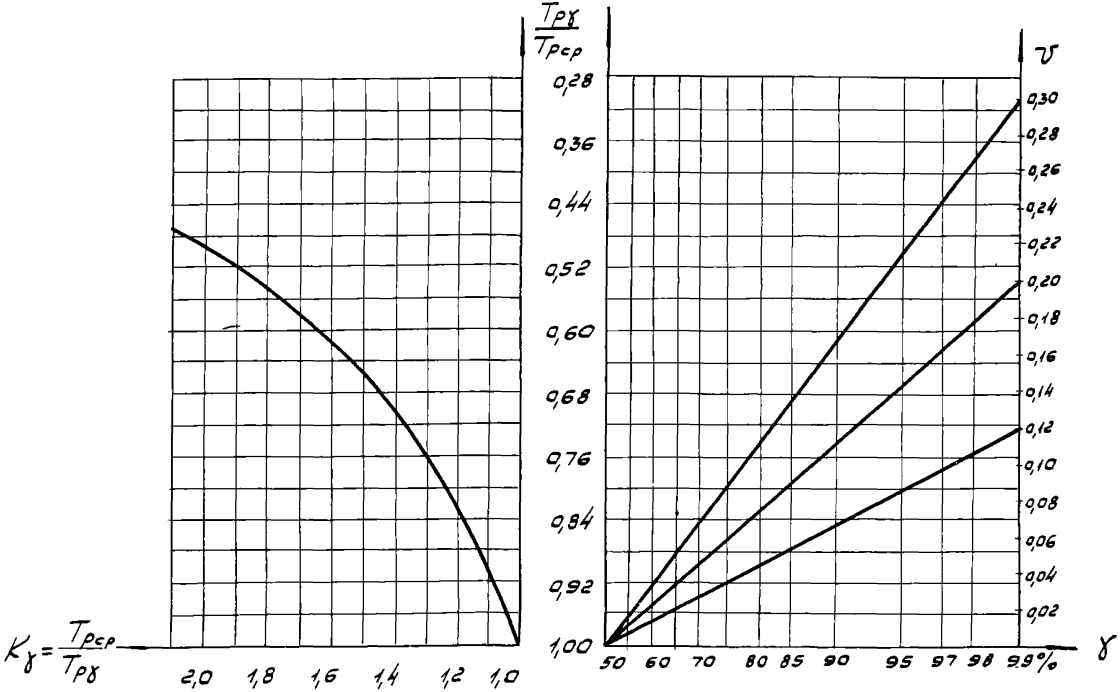
Оперативная продолжительность заключительных работ оценивается по затратам на следующих операциях:

- заправке машины горюче-смазочными материалами;
- проверке функционирования всех узлов;
- испытании машины в целом;
- окраске машины.

Затраты на разборку и последующую сборку машины определяются по принятой технологической последовательности операций.

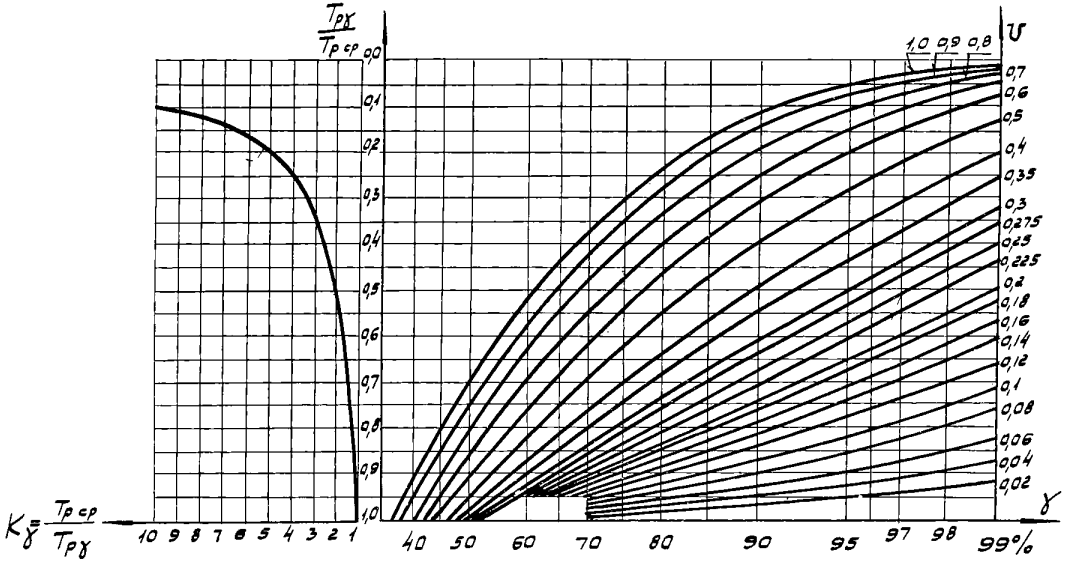


Номограмма для оценки ресурсных показателей при нормальном законе распределения



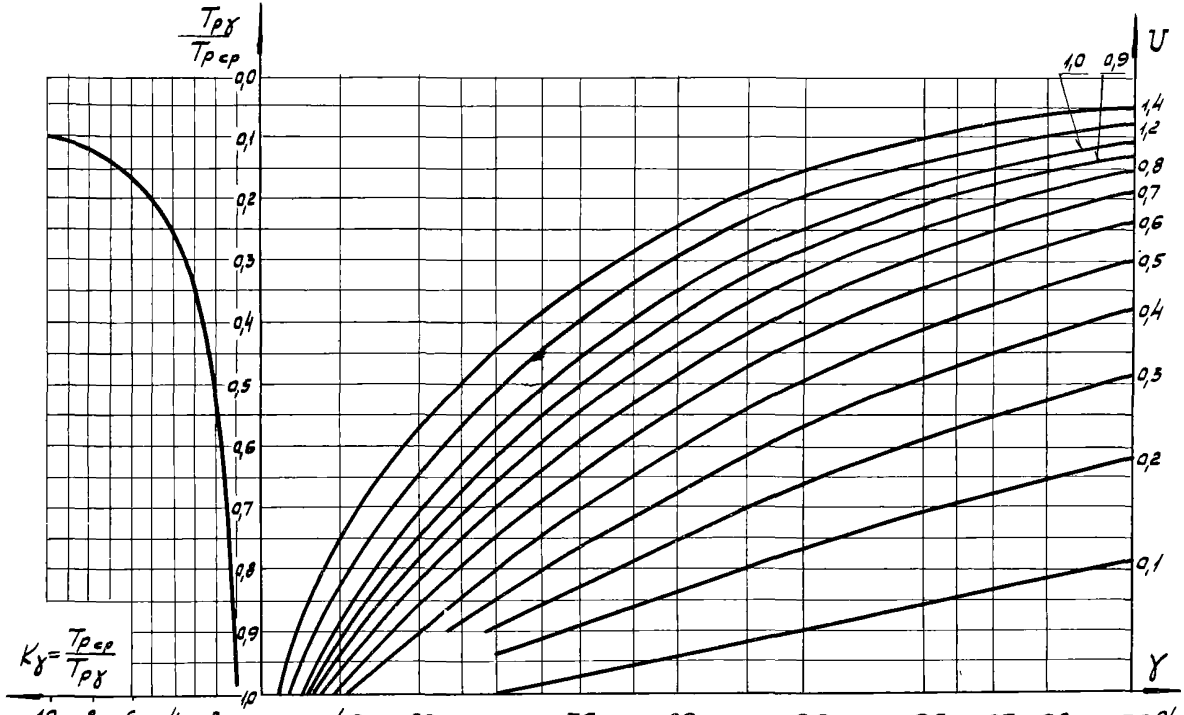
Черт. I

Номограмма для оценки ресурсных показателей при законе распределения Вейбулла



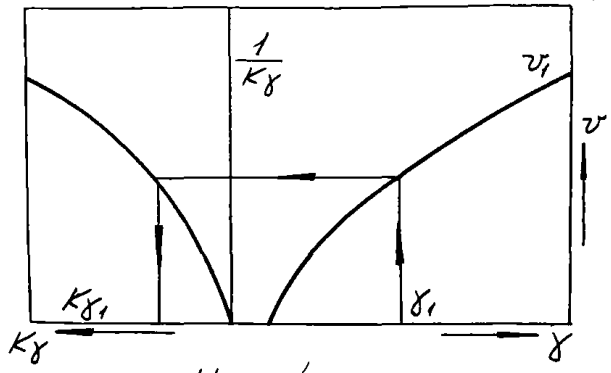
Черт.2

Номограмма для оценки ресурсных показателей при логарифмически-нормальном законе распределения



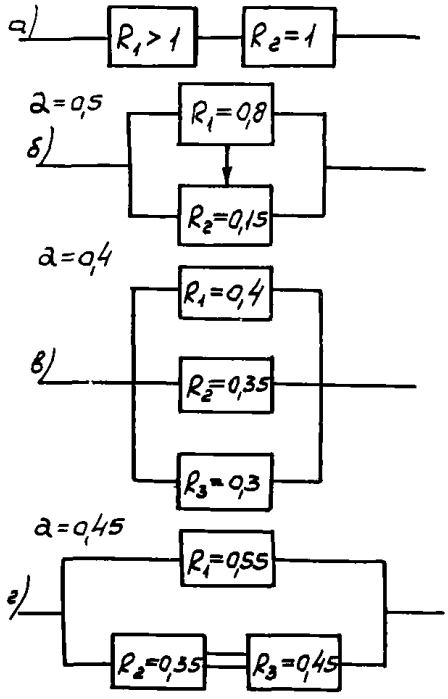
Черт.3

Ключ работы с номограммами для определения отношения среднего и гамма-процентного ресурсов



Черт. 4

Варианты образования структурных схем надежности



Черт. 5

Таблица 2

Ориентировочные значения коэффициентов вариации распределений ресурсов машин и сборочных единиц

Факторы, определяющие вид распределения								Вид закона распределения ресурса	Пределы изменения коэффициента вариации
Процесс разрушения		Условия работы		Степень нагруженности		Технология изготовления			
изнашивание	усталость	стабильные	изменяющиеся	максим. нагрузки	средние нагрузки	высокая	средняя		
+		+		+		+		Н	0,10...0,20
+		+		+			+	Н	0,20...0,25
+		+			+	+		Н	0,20...0,30
+			+	+		+		В	0,30...0,40
+			+	+			+	В	0,40...0,50
+			+		+	+		В	0,40...0,60
+			+		+		+	В	0,50...0,60
	+	+		+		+		В	0,30...0,40
	+	+		+			+	В	0,30...0,45
	+	+			+	+		В	0,35...0,50
	+		+	+		+		В3	0,35...0,55
	+		+	+			+	В	0,40...0,55
	+		+		+	+		В	0,40...0,60
	+		+		+		+	В	0,50...0,70

Условные обозначения: Н – нормальный закон распределения
В – распределение ресурса соответствует закону Вейбулла

3.5.3. Определяются оперативные затраты, необходимые для проведения текущего ремонта машины:

$$Z_{тр} = \alpha Z_{кр} \qquad (4)$$

Значения α для различных машин зависят от сложности их конструктивного решения и должны быть в интервале от 0,2 до 0,5.

3.5.4. За критерий предельного состояния каждой сборочной единицы (узла) принимаются оперативные затраты, необходимые для выполнения разборки на детали и сборки ремонтируемого изделия (справочные нормативы времени на слесарные операции даны в приложении 3).

Количественно критерий предельного состояния i-того узла оценивается по выражению

$$Z_i = Z'_{подг} + Z'_{разб} + Z'_{сб} + Z'_{закл}, \qquad (5)$$

где $Z'_{подг}$ – оперативные затраты на демонтаж сборочной единицы;

$Z'_{разб}$ – оперативные затраты на полную разборку, промывку и дефектовку деталей;

$Z'_{сб}$ – оперативные затраты на сборку узла;

$Z'_{закл}$ – оперативные затраты на заключительные операции.

Каждая из составляющих выражения (5) вычисляется по сумме продолжительности технологических переходов в составе соответствующих операций с заданной последовательностью с учетом рабочей позы оператора на каждом переходе (приложение 4).

В состав подготовительных операций входят:

- слив горюче-смазочных материалов (если это необходимо);

- чистка и мойка машины (если это необходимо);

- демонтаж узлов и элементов, мешающих подходу к отказавшему узлу;

- демонтаж отказавшего узла и перенос его на место разборки.

В состав слесарно-разборочных операций входят:

- разборка узла на детали;

- мойка и дефектовка деталей.

В состав слесарно-сборочных операций входят:

- сборка узла из годных и восстановленных деталей, а также из запасных частей;

- регулировка и наладка нормального функционирования всех деталей в собираемом узле.

В состав заключительных операций входят:

- регулировка и испытание узла на стенде;

- монтаж узла на машину;

- монтаж ранее демонтированных узлов и элементов, закрывающих доступ к данному узлу;

- проверка работы машины с отремонтированным узлом.

3.5.5 Перечисленные в п.п. 3.5.2, 3.5.3 и 3.5.4 величины определяются разработчиками по данным эксплуатации машин аналогичного класса и назначения с учетом действующих нормативов и компоновочного решения проектируемой машины и ее узлов.

При наличии достоверных данных затраты на ремонт машины в целом и сборочных единиц могут оцениваться не только временем, но и трудоемкостью или стоимостью выполнения ремонтных работ.

3.5.6. Ранги ремонтных затрат сборочных единиц определяются по выражению

$$R_i = \frac{Z_i}{Z_{кр}} \qquad (6)$$

3.5.7. Составляется упорядоченный ряд рангов ремонтных затрат в порядке убывания их значений

$$R_1 \geqslant R_2 \geqslant \ldots \geqslant 1 > R_i \geqslant R_{i+1} \geqslant \ldots \geqslant \alpha > R_j \geqslant R_{j+1} \geqslant R_n,$$

где n – число узлов в машине.

Расчет рангов сводится в таблицу по следующей форме.

Номер сборочной единицы	$Z'_{подг}$	$Z'_{разб}$	$Z'_{сб}$	$Z'_{закл}$	Z_i	R_i
I						
2						
3						
4						
5						
6						

3.5.8. Формируются наиболее "вероятные" ремонтные комплекты, т.е. группы сборочных единиц, одновременный ремонт которых эквивалентен величине принятого критерия предельного состояния машины.

3.5.8.I. Если ранг ремонтных затрат сборочной единицы (агрегата, узла, системы) равен или больше единицы, то такая сборочная единица является базовой ($R_i \geqslant I$).

Эти сборочные единицы располагаются в структурной схеме

надежности машины как последовательные элементы (черт. 5а).

Последовательными элементами структурной схемы, как правило, являются базовые машины (тракторы, автомобильные шасси) и базовые металлоконструкции.

3.5.8.2. Если ранг ремонтных затрат сборочной единицы $1 > R_i \geqslant \alpha$ (условно базовый узел), то они объединяются в один ремонтный комплект со сборочной единицей (одной или несколькими), ранг которой существенно меньше α, ($R_i \ll \alpha$) , так, чтобы сумма рангов в комплекте была близка к единице (черт. 5б).

Рекомендуется относить значения рангов к группе существенно малых при $R_i \leqslant (0{,}2\text{-}0{,}3)\,\alpha$. Элементы с такими рангами в структурной схеме располагаются под стрелкой, при этом сумма относительных затрат существенно малых рангов должна быть $\Sigma R_i < \alpha$. При этом в структурной формуле надежности отсутствуют вероятности элементов, находящихся в схеме под стрелкой.

3.5.8.3. Если ранги ремонтных затрат $R_i < \alpha$, но не относятся к группе существенно малых, то из сборочных единиц с такими рангами образуются ремонтные комплекты двух типов:

а) при сумме рангов комплекта близкой к единице, элементы в структурной схеме соединяются между собой параллельно (черт. 5в).

При этом наиболее вероятным является комплект, включающий минимальное число сборочных единиц в параллельных ветвях структурной схемы;

б) при сумме рангов комплекта больше единицы, элементы в структурной схеме соединяются параллельно-последовательно (черт. 5г).

В последнем случае элемент комплекта с наибольшим рангом

располагается в одной ветви, а остальные элементы - в другой, образуя последовательную цепочку (эти элементы по сумме рангов должны быть меньше единицы и в схеме соединяться двумя линиями).

3.5.8.4. Если оставшаяся группа рангов $I > \sum R_i \geqslant \alpha$, то такая группа формируется в самостоятельный ремонтный комплект.

3.5.9. Все ремонтные комплекты структурной схемы соединяются между собой последовательно, образуя структурную схему надежности машины.

3.5.I0. Определяются значения вероятностей работы до предельного состояния для каждой из сборочных единиц, исходя из общих требований на машину и условий обеспечения этих требований в производстве. При этом базовые сборочные единицы в большинстве случаев должны обладать таким ресурсом, который с вероятностью $P_i > 0,9$ был бы достаточным для работы машины в течение полного срока службы.

Остальные ресурсы узлов должны быть обеспечены с вероятностью не менее $P_i \geqslant 0,8$.

3.5.II. Выбранные значения P_i подлежат уточнению при расчете ресурсных показателей сборочных единиц. Каждая из выбранных вероятностей определяет требование к гамма-процентному ресурсу сборочной единицы по величине гамма (γ):

$$P_i = \frac{\gamma_i}{I00} . \qquad (7)$$

3.5.I2. По графическому изображению структурной схемы составляется аналитическое выражение (структурная формула надежности машины) для расчета вероятности обеспечения заданного гамма-процентного ресурса машины $P(T p_\gamma)$.

$$P(T_{p\gamma}) = \prod_{K=1}^{d} P_K = P_I \cdot P_2 \cdot \ldots \cdot P_d , \qquad (8)$$

где P_K - вероятность того, что входящие в К-ый (К = I,2..) ремонтный комплект сборочные единицы не будут одновременно находиться в предельном состоянии в течение заданной наработки машины ($T_{p\gamma}$);

d - число ремонтных комплектов в структурной схеме.

3.5.I3. При вычислении вероятности обеспечения ресурса машины в целом должно быть выполнено условие

$$P(T_{p\gamma}) = \prod_{K=1}^{d} P_K \geqslant \frac{\gamma}{I00} . \qquad (9)$$

3.5.14.Если в результате расчета по формуле (8) неравенство (9) не удовлетворяется, необходимо соответственно откорректировать выбранные значения P_i, увеличивая принятые по п. 3.5.I0 значения вероятностей обеспечения ресурса для одной или нескольких сборочных единиц, расположенных последовательно в структурной схеме, после чего повторить вычисление $P(T_{p\gamma})$ для машины.

Изложенный способ составления структурной схемы надежности является упрощенным. Методика точного расчета вероятности работы машины до предельного состояния и составления соответствующих структурных схем приведена в справочном приложении 5.

3.5.I5. Ранги ремонтных затрат сборочных единиц и положение соответствующих элементов в структурной схеме надежности машины являются исходными данными для разработки требований к ресурсным показателям сборочных единиц.

Если узел является базовым или условно базовым, то средняя наработка машины до его предельного состояния или замены не долж-

на быть менее среднего ресурса самой машины.

Все остальные узлы могут ремонтироваться в любом из текущих ремонтов, но при этом суммарные затраты в каждом текущем ремонте не должны превышать установленного по п. 3.5.3 норматива.

3.5.I6. Разработка требований к наработке машины до предельного состояния или замены сборочной единицы выполняется по следующему решающему правилу:

$$T_i = \begin{cases} T_{pcp\,1к} \cdot N_i & \text{при } R_i \geq \alpha \\ \dfrac{T_{pcp\,1к}}{N_i} & \text{при } R_i \ll \alpha \quad N_i = 1,2\ldots \end{cases} \qquad (10)$$

где N_i – кратность замены i-ой сборочной единицы.

Значения наработок по формуле (I0) определяют периодичность текущих ремонтов машины.

3.5.I7. Средние ресурсы сборочных единиц вычисляются по формуле

$$T_{pcpi} = T_i K_i \,. \qquad (11)$$

При этом коэффициент использования сборочной единицы определяется по формуле

$$K_i = K_{i\beta} \cdot K_{i\,гр} \,, \qquad (12)$$

где $K_{i\beta}$ – коэффициент использования узла по времени;

$K_{i\,гр}$ – коэффициент использования узла по нагрузке, т.е. доля времени действия нагрузок, влияющих на долговечность, в общем времени работы узла под полезной нагрузкой.

При отсутствии достоверных данных по учитываемым нагрузкам

следует принимать $K_{i\psi} = I$.

Примечание. Для сложных систем электропривода или гидропривода, обладающих хорошей доступностью и легкосъемностью каждого элемента, замена любого элемента не представляется сложной операцией и поэтому понятие предельного состояния для системы практически отсутствует. Поэтому ресурс для таких сборочных единиц назначается по наработке машины до её списания.

3.5.I8. Гамма-процентные ресурсы сборочных единиц определяются по формуле

$$T_{P\gamma i} = \frac{T_{pcpi}}{K_{\gamma i}}, \qquad (I3)$$

где коэффициент $K_{\gamma i}$ определяется в зависимости от принятого значения γi, вида закона и коэффициента вариации распределения ресурса сборочных единиц.

Установление вида закона распределения ресурса и оценка его коэффициента вариации (при отсутствии достоверных статистических данных из опыта эксплуатации подобных изделий) осуществляется с помощью табл. 2 в зависимости от действия приведенных в таблице доминирующих факторов.

3.5.I9. Гамма-процентные наработки машины $T_{\gamma i}$ до предельного состояния сборочных единиц определяются по формуле

$$T_{\gamma i} = \frac{T_{P\gamma i}}{K_i}, \qquad (I4)$$

Для сборочных единиц с рангами ремонтных затрат $R_i \geqslant \alpha$ (последовательные элементы структурной схемы) значения $T_{\gamma i}$ должны быть близки заданному гамма-процентному ресурсу машины.

Если для таких сборочных единиц значения $T_{\gamma i}$ существенно меньше $T_{P\gamma}$, то необходимо для обеспечения ресурса машины с за-

данной вероятностью либо изменить компоновку машины с целью снижения ремонтных затрат, либо резко повысить требования к ресурсным показателям этих сборочных единиц, задавая их средние ресурсы, соответствующие наработке машины до списания.

Если уровень надежности комплектующих базовых изделий не позволяет обеспечить ресурс машины с заданной вероятностью, то следует использовать другое комплектующее изделие с лучшими ресурсными показателями.

В случае невозможности выбора комплектующих изделий с повышенным ресурсом, необходимо изменить требование к ресурсному показателю машины и привести его в соответствие с ресурсом базового комплектующего изделия и структурной схемой надежности машины в целом.

3.5.20. Средний срок службы (в годах) определяется в следующих случаях:

- для машин, работающих без капитального ремонта полный ресурс;

- для машин с низким коэффициентом использования, учет работы которых регистрируется календарной продолжительностью их нахождения в эксплуатации.

В этом случае значения средних сроков службы сборочных единиц подсчитываются по формуле

$$T_{сл.ср.i} = \frac{T_{р.ср.i}}{8760 \cdot K_{и} \cdot K_{i}} . \qquad (I5)$$

Примечание. Средние сроки службы машин и сложных узлов не подлежат увеличению, если их значения соответственно равны амортизационному сроку службы до списания.

3.5.2I. Результаты расчета ресурсных показателей сборочных единиц на этапе разработки технического задания сводятся в таблицу по следующей форме:

№№ п/п	Наименование сборочных единиц	P_i	T_i	K_i	$T_{р.ср}$	Вид закона распред. ресурса	υ_i	$K_{\gamma i}$	$T_{р\gamma i}$	$T_{\gamma i}$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II

Пример расчета дан в приложении 5.

3.6. Для изделий ремонтируемого класса, используемых в составе более сложных изделий, для которых применен критерий предельного состояния по снижению эффективности функционирования ниже допустимого уровня (по п. 3.4.2), показатели долговечности определяются в следующей последовательности.

3.6.I. Выполняются расчеты по п п. 3.5.I-3.5.I8 в полном соответствии с приведенными в этих пунктах указаниями.

3.6.2. Гамма-процентный ресурс сборочной единицы, определяемый по критерию согласно п. 3.4.2, вычисляется по формуле (I3), но вид закона распределения и его параметры принимаются с учетом выбранного критерия предельного состояния.

Дальнейшие расчеты показателей долговечности выполняются в соответствии с указаниями п п. 3.5.I9-3.5.2I.

3.7. Для комплекса изделий, выполняющего работы по единому технологическому процессу, для оценки надежности которого применен критерий предельного состояния по снижению эффективности функционирования в результате прогрессивно увеличивающейся стоимости восстановления оборудования (п. 3.4.3-а), требования к показателям долговечности определяются в следующей последовательности.

3.7.I. Для всех видов машин и оборудования, входящих в технологический комплекс, вычисляются средние ресурсы и трудозатраты на капитальные ремонты или замену по п.п. 3.5.I и 3.5.2, а также ориентировочную стоимость ремонтных работ. Для оборудования технологических линий по производству строительных материалов могут быть использованы расчетные оценки ремонтной сложности.

3.7.2. Выполняется структурный анализ всех машин и оборудования, входящих в комплекс, по п п. 3.5.3-3.5.I9 и производится оценка стоимости ($Ц_к$) всех видов ремонтных работ, включая дополнительную стоимость ($Ц_к^{доп}$), сопутствующую некоторым видам ремонтов.

3.7.3. Результаты выполненных работ вносятся в таблицу по следующей форме:

№№ п/п	Наименование машин и их сборочных единиц	$T_к$ (I) ч	$Ц_к$ руб	$Ц_к^{доп}$ руб	$Ц_к^{об}$ руб	Вид распредел. ресурса изд.	$\vartheta_к$
I	2	3	4	5	6	7	8

Здесь $Ц_к^{об}$ - общая стоимость ремонта К-го вида оборудования, руб.

$$Ц_к^{об} = Ц_к + Ц_к^{доп} \quad , \qquad (I6)$$

где $Ц_к$ - стоимость работ по капитальному ремонту или замене К-го вида оборудования, руб;

$Ц_к^{доп}$ - дополнительная стоимость (в т.ч. убытки от брака или простоя оборудования, попутные затраты на ремонт других элементов) при ремонте К-го вида оборудования, руб.

3.7.4. определяется периодичность ($T_к^{(f)}$) ремонтных затрат с учетом влияния повторных ремонтов и соответствующих сокращений ремонтных циклов каждого вида оборудования или их сборочных единиц.

$$T_к^{(f)} = T_к^{(1)} \sum_{f_к} C^{f_к - 1} , \qquad (I7)$$

где $T_к^{(I)}$ – средняя наработка К-го вида оборудования до I-го капитального ремонта, часы наработки комплекса;

$f_к$ – порядковый номер капитального ремонта данного изделия с начала эксплуатации комплекса;

С – коэффициент сокращения ремонтных циклов принимается в интервале $0,8 \leqslant C \leqslant 0,95$.

3.7.5. Если какое-либо оборудование комплекса или его сборочная единица капитально не ремонтируются и при достижении своего предельного состояния заменяются новыми, то коэффициент С=I и расчет периодичности замен выполняется по формуле

$$T_к^{(f)} = T_к^{(I)} \cdot f_к \cdot \qquad (I8)$$

3.7.6. Коэффициент вариации распределения ресурса изделий при их замене или капитальном ремонте в каждом периоде, вычисленном по (I7) и (I8), необходимо определять по формуле

$$\upsilon_к^{(f)} = \frac{\upsilon_к^{(1)}}{\sqrt{f_к}} \qquad (I9)$$

где $\upsilon_к^{(1)}$ – коэффициент вариации первого распределения ресурса К-го вида оборудования.

3.7.7. Середина каждого интервала периодичности ремонтов должна быть кратной I000; 2000 и 5000 ч, а расчетные интервалы, в которых вычисляются ремонтные затраты, соответственно равны:

500 – I500

I500 – 2500

2500 - 3500

.....

3.7.8. Если наработка до первой замены какого-либо изделия меньше или равна I000 ч, то затраты на капитальный ремонт или замену такого изделия в каждом интервале равны общим затратам на капитальный ремонт или замену данного изделия в первом интервале, а коэффициент сокращения ремонтных циклов принимается равным $C = I$.

3.7.9. Для каждого интервала наработки комплекса вычисляется суммарная стоимость ремонта

$$Ц(\Delta T_n) = \sum_{K=1}^{m} \sum_{i=1}^{S} Ц_{K,i}(\Delta T_n), \qquad (20)$$

$Ц_{K,i}(\Delta T_n)$ - стоимость ремонта i-той сборочной единицы оборудования К-го вида на n-ом интервале наработки комплекса, руб.

3.7.I0. Результаты расчета стоимости ремонтов заносятся в таблицу следующей формы (табл. 3).

Таблица 3

Пример заполнения формы для расчета стоимости ремонтов

№№ п/п изделий		$T_к^{(j)}$ и $Ц_к^{об}$ в интервалах наработки комплекса															
		500-I500		I500-2500		2500-3500		3500-4500		...		5500-6500					
K	i	$T_к^{(j)}$	$Ц_к^{об}$	$T_к^{(j)}$	$Ц_к^{об}$	$T_к^{(j)}$	$Ц_к^{об}$	$T_к^{(j)}$	$Ц_к^{об}$	...		$T_к^{(j)}$	$Ц_к^{об}$				
I	=													6000	I000		
	I			2000	I00			4000	I00								
	2			2000	500			3800	500								
2						3000	500							6000	500		
	I	I000	20	2000	20			4000	20								
	2			2000	200			3800	200								
	3	I000	I00	2000	I00			4000	IC0								
$Ц_{K,i}(\Delta T_n)$		I20		920		500		920						I500			

3.7.II. Вычисляются координаты графика изменения показателя эффективности по формуле

$$E(T_n) = 1 - \frac{\sum_n Ц(\Delta T_n)}{\beta T_n}, \qquad (2I)$$

где T_n - текущее значение наработки, ч;

β - средняя часовая стоимость строительного продукта, изготовленного с помощью данного комплекса машин, руб/ч.

3.7.I2. График по формуле (2I) строится до наработки, при достижении которой выполняется условие устойчивого неравенства

$$E(T) < E_{пр}, \qquad (22)$$

где $E_{пр}$ - предельно допустимый уровень показателя эффективности функционирования комплекса машин, значение которого определяется рентабельностью работы этого комплекса.

Примечание.

Устойчивость неравенства (22) оценивается последующим расчетом показателя эффективности $E(T_n)$, значения которого в следующем интервале наработки не должно превысить величины $E_{пр}$.

Пример определения наработки комплекса машин до предельного состояния по критерию потери эффективности дан в табл. 4 и на черт. 6; исходные данные взяты из табл. 3 при $\beta = 3$ руб/ч.

Таблица 4

Пример расчета наработки до потери эффективности комплекса

T_n ч	βT_n руб	$\Sigma Ц(\Delta T_n)$, руб		$\frac{\Sigma Ц(\Delta T_n)}{\beta T_n}$		E(T)		Выполнение условия $E(T) < E_{пр}$
500	I500		0		0		I	$E_{пр} = 0,82$
I000	3000	I20	0	0,04	0	0,96	I	
I500	4500	I20		0,03		0,97		
2000	6000	I20	I040	0,02	0,I73	0,98	0,827	
2500	7500		I040		0,I39		0,86I	
3000	9000	I540	I040	0,I7I	0,II6	0,829	0,884	
3500	I0500	I540		0,I47		0,853		
4000	I2000	I540	2460	0,I28	0,205	0,872	0,795	$< 0,82$
4500	I3500		2460		0,I82		0,8I8	
5000	I5000	2580	2460	0,I72	0,I64	0,828	0,836	$> 0,82$
5500	I6500	2580		0,I56		0,844		
6000	I8000	2580	4080	0,I43	0,227	0,857	0,773	$< 0,82$
6500	I9500		4080		0,209		0,79I	
7000	2I000	5000	4080	0,238	0,I94	0,762	0,806	$< 0,82$

3.7.I3. Распределение наработки комплекса в зоне его предельного состояния определяется методом суперпозиции по распределениям ресурсов машин и сборочных единиц, предельное состояние которых совпадает с предельным состоянием комплекса.

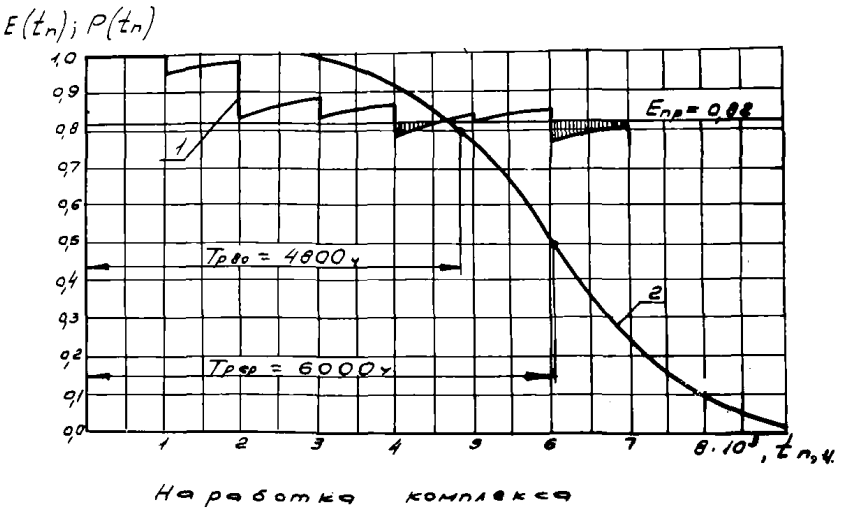
Согласно методу суперпозиции, распределение ресурса комплекса определяется по формуле

$$P(T_{p\gamma}) = C_I P(T_{p\gamma 1}) + C_2 P(T_{p\gamma 2}) + \ldots + C_m P(T_{p\gamma m}), \quad (23)$$

при $$\sum_{к=1}^{m} C_к = I$$

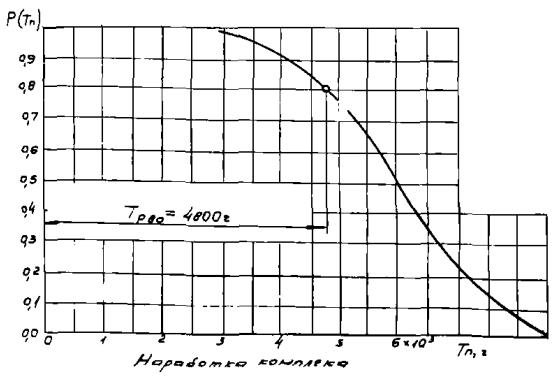
где $C_К$ – долевой коэффициент, определяющий влияние распределения ресурсов К-ой составляющей комплекса на распределение ресурса комплекса в целом;

Оценка наработки до предельного состояния комплекса машин



Черт.6

Кривая убыли ресурса работы комплекса



Черт.7

$P(T_{рук})$ – ординаты кривой убыли ресурса К-ой составляющей комплекса;

m – число составляющих распределений при определении ординат распределения ресурса комплекса.

3.7.I4. Долевые коэффициенты определяются из соотношения

$$C_к = \frac{Ц_к^{об}}{Ц\ (\Delta T_п)}\ , \qquad (24)$$

где $Ц_к^{об}$ – определяется по формуле (I6);

$Ц(\Delta T_п)$ – определяется по формуле (20).

Пример. По данным табл. 3 и черт. 6 имеем:

$Ц_I^{об}$ = I000 руб; $Ц_2^{об}$ = 500 руб; $Ц_I(\Delta T_п)$ = I500 руб;

$\Delta T_п$ = 5500 – 6500 ч; $T_{рср}$ = 6000 ч.

Тогда $C_I = \frac{I000}{I500} = 0{,}67$; $C_2 = \frac{500}{I500} = 0{,}33$

$$C_I + C_2 = I.$$

Пусть распределения ресурсов составляющих подчиняются нормальному закону с коэффициентами вариации $v_1^{(1)} = 0{,}25$ $v_2^{(1)} = 0{,}28$.

Для рассматриваемого интервала имеем:

$v_1^{(1)} = 0{,}25$; $v_2^{(2)} = \frac{0{,}28}{\sqrt{2}} \cong 0{,}2$;

$T_1^{(1)} = T_2^{(2)} = 6000$ ч.

Для расчета кривой убыли используется номограмма (черт. I).

Результаты расчета сведены в табл. 5.

Таблица 5

Расчет кривой убыли ресурса комплекса машин

T_n	$\frac{T_n}{T_{ср}}$	$P_I(Tn)$ $v_1^{(1)}=0,25$	$P_2(Tn)$ $v_1^{(2)}=0,2$	$C_IP_I(Tn)$	$C_2P_2(Tn)$	$P(Tn)$
3000	0,5	0,977	0,994	0,655	0,328	0,983
4000	0,67	0,907	0,950	0,608	0,3I4	0,922
5000	0,83	0,752	0,802	0,504	0,265	0,769
6000	I,00	0,500	0,500	0,335	0,I65	0,500
7000	I,I7 (-0,83)	0,248	0,I98	0,I66	0,065	0,23I
8000	I,33 (-0,67)	0,093	0,05	0,062	0,0I7	0,079

Кривая убыли по табл. 5 представлена на черт. 7.

3.8. Для комплекса изделий, выполняющего работы по единому технологическому процессу, для оценки надежности которого применен критерий предельного состояния по снижению эффективности функционирования в результате неустранимой потери качества конечной продукции технологического процесса, требования к показателям долговечности определяются для одной из двух (или обеих) расчетных ситуаций.

3.8.I. Если критерием предельного состояния комплекса машин является выход параметра качества изготовления продукции за установленные пределы, то расчет требований к показателям долговечности выполняется по п.п. 4 и 5 ГОСТ 27.202-83 "Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготовления продукции".

3.8.2. Если критерием предельного состояния комплекса машин являются экономические потери от брака продукции выше допустимых

пределов, то расчет требований к показателям долговечности выполняется аналогично п. 3.7 настоящего РД.

3.9. Для изделий неремонтируемого класса критерием предельного состояния (отказа) может служить как факт появления самого отказа, так и заданный уровень экономических последствий этого отказа.

3.9.I. Если за критерий отказа изделия принимается сам факт отказа, независимо от его последствий, то, при наличии данных о распределениях ресурсов деталей, гамма-процентная наработка до первого отказа ($T_{0\gamma}$), определяется из условия

$$P(T_{0\gamma}) = \prod_{j=1}^{S} P_j(T_{0j} = T_{p\gamma}) \geqslant \frac{\gamma}{100} \quad , \qquad (25)$$

где S - число деталей в изделии;

T_{0j} - наработка до первого отказа j-той детали в единицах наработки изделия в целом.

Если данные о ресурсах деталей отсутствуют, то гамма-процентная наработка до первого отказа назначается по опыту эксплуатации изделий-аналогов.

3.9.2. Если за критерий отказа изделия принимают минимум ремонтных затрат, то последовательность расчета требований к гамма-процентной наработке до первого отказа выполняется по п. 3.5.

4. ЭТАП ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ - РАСЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ К ПОКАЗАТЕЛЯМ БЕЗОТКАЗНОСТИ

4.I. Основные обозначения, принятые в данном разделе РД:

$P(t)$ - вероятность безотказной работы изделия в целом за наработку t;

$P_i(t)$ - вероятность безотказной работы i-той сборочной единицы за наработку t ;

$P(t_{on})$ - вероятность безотказной работы изделия в период выполнения операции;

$P_i(t_в < \tau)$ - вероятность того, что среднее время $t_в$ восстановления работоспособности i-той сборочной единицы будет меньше минимально допустимого его значения τ ;

T_{oi} - наработка на отказ i-той сборочной единицы.

4.2. Нормируемые требования к показателям безотказности обосновываются на базе следующих возможных исходных данных:

а) информации о безотказности элементов изделия;

б) информации о безотказности сборочных единиц изделия;

в) информации о безотказности изделий-аналогов или их сборочных единиц;

г) заданных требований к показателям безотказности нормативно-техническим документам на изделие, другими руководящими документами или планами производства.

4.3. Расчет требований к показателям безотказности выполняется при наличии одного из видов информации по п.п.4.2-(а), (б) или (в). По источнику информации п.4.2-(г) показатели безотказности нормируются без расчета.

Расчет требований к показателям безотказности выполняется в следующей последовательности:

- устанавливается критерий отказа для изделия в целом;

- в целях сопоставимости известные критерии отказов элементов изделия приводятся в соответствие с критерием отказа изделия в целом;

- по избранному критерию выполняется, при необходимости, структурный анализ надежности и производится расчет требований к наработке на отказ и вероятности безотказной работы.

4.4. Критерий отказов формулируется разработчиком проектируемого изделия и зависит от назначения этого изделия, наличия временной избыточности в период его эксплуатации, а также от степени существенности последствий потери работоспособности.

4.4.I. Для изделий ремонтируемого класса критерием отказа является минимальная продолжительность устранения оператором причин потери работоспособности, превосходящая максимальное значение временной избыточности.

4.4.2. Для комплекса изделий, выполняющего работы по единому технологическому процессу, критерием отказа является минимальная продолжительность устранения штатным составом рабочих экипажа комплекса (без применения средств механизации) причин потери работоспособности, приводящая к нарушению производственного цикла.

4.4.3. Для изделий неремонтируемого класса критерием отказа является сам факт потери работоспособности изделия.

4.5. Для изделий ремонтируемого класса (или для комплекса изделий) требования к показателям безотказности определяются в следующей последовательности.

4.5.I. Если имеется информация о надежности составных частей изделия или комплекса, то требования к показателям надежности комплекса (изделия) в целом определяются по следующим формулам.

Требования к наработке на отказ определяются по формуле

$$T_0 = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{K_i}{T_{oi}}} \qquad (26)$$

где K_i – коэффициент использования i-той составной части изделия (комплекса) в рабочем и вспомогательном циклах машины.

Требования к вероятности безотказной работы принимаются за период между регулировками, контрольными проверками, юстировками, техническим обслуживанием, переаттестациями, плановыми текущими ремонтами.

$$P(t) = \prod_{i=1}^{n} P_i(t), \qquad (27)$$

4.5.2. Если отказ одной из составных частей изделия или комплекса равносилен отказу изделия (комплекса) в целом, то вероятность успешного выполнения операции изделием (комплексом) в заданное время t_{on} при наличии заданного значения временной избыточности τ_β будет равна

$$P(t_{on}) = \prod_{i=1}^{n} \left\{ P_i(t) + \left[1 - P_i(t)\right] P_i(t_\beta < \tau) \right\} \qquad (28)$$

при $P_i(t_\beta < \tau) \geq 0{,}5$

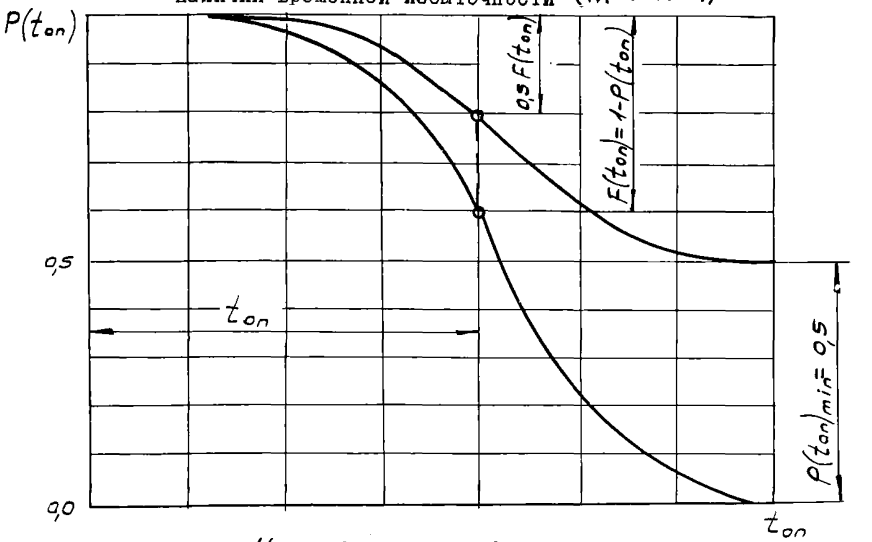
Минимальное значение вероятности выполнения операции определяется при значении $P_i(t_\beta < \tau) = 0{,}5$ и будет равно

$$P(t_{on}) = \prod_{i=1}^{n} \left\{ P_i(t) + \left[1 - P_i(t)\right] 0{,}5 \right\} \qquad (29)$$

Графическая интерпретация выражения (29) показана на черт. 8 (при $n = 1$).

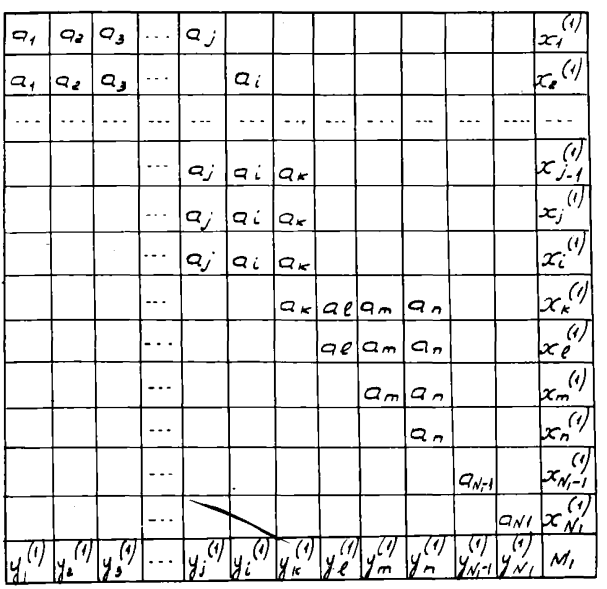
4.5.3. Показатели безотказности неремонтируемых изделий определяются по заданной элементной базе.

Минимальная вероятность выполнения операции при наличии временной избыточности (при n=1)



Черт.8

Первичная квадратная матрица положений



Черт.9

5. ЭТАП ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ – РАСЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ К ПОКАЗАТЕЛЯМ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ И КОМПЛЕКСНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ НАДЕЖНОСТИ

5.1. Если имеется предварительная информация о показателях ремонтопригодности и комплексных показателях надежности машин-аналогов, то на их основе соответствующие показатели для новой машины определяются после тщательного анализа разрабатываемой конструкции по сравнению с машиной-аналогом.

5.2. Если предварительная информация отсутствует, то требования к показателям ремонтопригодности и комплексным показателям надежности определяются по общему уровню требований для данного типа машин.

5.3. Для изделий, находящихся в режиме ожидания под нагрузкой, требования к величине коэффициента оперативной готовности определяются по выражению

$$K_{ог} = P(t) \cdot K_{г}^{ож} \quad , \qquad (30)$$

где $P(t)$ – определяется по формуле (27);

$K_{г}^{ож}$ – коэффициент готовности в режиме ожидания определяется по формуле

$$K_{г}^{ож} = \frac{\sum T_{ож}}{\sum T_{ож} + \sum t_{в}^{ож}} \quad , \qquad (31)$$

где $\sum T_{ож}$ – суммарная продолжительность нахождения (включая наработку) изделия в режиме ожидания (по данным машин-аналогов), ч;

$\sum t_{в}^{ож}$ – суммарное оперативное время восстановления работоспособности в режиме ожидания (по данным машин-аналогов).

6. ЭТАП ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА – РАСЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ К ПОКАЗАТЕЛЯМ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ РЕМОНТИРУЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

6.1. Основные обозначения, принятые в данном разделе РД:

K_j – коэффициент использования j-ой детали в рабочем времени сборочной единицы;

υ_j – коэффициент вариации величины ресурса j-ой детали;

γ_j – вероятность обеспечения ресурса j-ой детали, (%);

$K_{\gamma j}$ – отношение среднего к гамма-процентному ресурсу детали;

T_j – средняя наработка машины до замены j-той детали;

$T_{p\gamma j}$ – гамма-процентный ресурс j-той детали;

$T_{\gamma j}$ – гамма-процентная наработка машины до замены j-той детали;

T_{pcpj} – средний ресурс j-той детали до замены.

6.2. Целью расчета на стадии технического проекта является определение требований к ресурсным показателям деталей и согласование их с требованиями к долговечности сборочных единиц. Кроме этого на стадии технического проекта должны быть определены показатели долговечности машины, а также должна быть окончательно установлена периодичность и продолжительность плановых обслуживаний и ремонтов.

6.3. Исходными данными для проведения расчета являются:

- средние значения ресурса сборочных единиц (определены в ТЗ);
- гамма-процентные ресурсы сборочных единиц (определены в ТЗ);
- значения вероятностей обеспечения ресурсов сборочных единиц (определены в ТЗ);

- данные чертежа сборочной единицы (узла).

6.4. Расчет требований к показателям долговечности выполняется в следующем порядке:

- составляется структурная схема надежности сборочной единицы;

- определяются требования к гамма-процентным и средним ресурсам деталей;

- определяется система планово-предупредительных ремонтов и технического обслуживания с указанием периодичностей, трудоемкостей и состава ремонтных воздействий;

- устанавливается перечень заменяемых деталей в каждом виде ремонта.

6.5. Структурная схема надежности СЕ составляется на основе логического анализа ремонтопригодности её конструкции (устанавливается последовательность разборки и доступность каждой детали) по критерию полной разборки проектируемой сборочной единицы.

Примечание. К расчету должны быть приложены чертежи сборочных единиц (или подробные эскизы). Нумерацию деталей на чертеже рекомендуется для расчета размещать в соответствии с порядком сборки узла. Крышки, крепежные детали и другие элементы, не участвующие непосредственно в выполнении основной функции сборочной единицы, при структурном анализе не нумеруются.

6.6. Если узел имеет N_1 деталей и при необходимости замены детали с номером α_j требуется предварительно снять еще детали с номерами $\alpha_k, \alpha_\ell \ldots \alpha_m$, то такая ремонтная ситуация записывается в виде

$$\alpha_j(\alpha_k, \alpha_\ell, \ldots, \alpha_m) \qquad (32)$$

Данная запись представляет собой характеристику доступности детали α_j при её замене. Число номеров в скобках является тем количеством деталей, которые необходимо предварительно снять (независимо от их состояния), чтобы осуществить замену детали α_j.

Поэтому сумма всех снятых деталей будет равна

$$1\alpha_j + (1\alpha_k + 1\alpha_\ell + \ldots 1\alpha_m) = x_j^{(1)}$$

6.7. Для полной оценки ремонтопригодности узла по критерию его полной разборки представляется информация в записях вида (32) о доступности замены последовательно для всех деталей от номера α_1 до номера α_{N1}

$$\left.\begin{array}{l} \alpha_1(\alpha_2, \alpha_3, \ldots, \alpha_j) \\ \alpha_2(\alpha_1, \alpha_3, \ldots, \alpha_i) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \alpha_{N_1-1}(\alpha_j, \alpha_i, \ldots, \alpha_k) \\ \alpha_{N_1}(\alpha_\ell, \alpha_m, \ldots, \alpha_n) \end{array}\right\} \qquad (33)$$

Исходная информация, записанная в таком виде, формируется в первичную квадратную матрицу положений размером $N_1 \times N_1$, так, чтобы номера деталей занимали положения на поле матрицы по соответствующим номерам столбцов (черт. 9).

Тогда число занятых ячеек в каждой строке $x_j^{(1)}$ характеризует доступность детали с номером α_j, а число занятых ячеек в каждом столбце $y_j^{(1)}$ будет определять число возможных случаев попутных съемов детали с номером α_j при необходимой замене других деталей. Чем больше число $y_j^{(1)}$, тем большему числу деталей создаются помехи при их замене.

Построенная квадратная матрица несет в себе исходную упорядоченную информацию, общий массив которой равен

$$M_1 = \sum_{j=\alpha_1}^{N_1} x_j^{(1)} = \sum_{j=\alpha_1}^{N_1} y_j^{(1)} . \qquad (34)$$

6.8. Квадратные матрицы обладают рядом признаков, с помощью которых удается распознать положение каждого элемента узла в структурной схеме надежности.

Рассмотрим три основных признака первичных квадратных матриц на примерах матриц $N_1 \times N_1 = 6 \times 6$, показанных на черт. 10.

Признак 1. Если у квадратной матрицы заполнены все ячейки и

$$\left.\begin{aligned} x_j^{(1)} &= N_1 \\ y_j^{(1)} &= N_1 \\ M_1 &= N_1^2 \end{aligned}\right\} , \qquad (35)$$

$$j = 1, 2, \ldots, N_1,$$

то такая матрица является полной, а все представленные в ней элементы являются базовыми и в структурной схеме соединены последовательно, при этом

$$P(T_{P\gamma}) = \prod_{j=\alpha}^{N_1} p_j .$$

Признак 2. Если у квадратной матрицы заполнены только диагональные ячейки и

$$\left.\begin{aligned} x_j^{(1)} &= 1 \\ y_j^{(1)} &= 1 \\ M_1 &= N_1 \end{aligned}\right\} , \qquad (36)$$

$$j = 1, 2, \ldots, N_1 ,$$

то такая матрица является диагональной, а все представленные в ней элементы обладают абсолютной доступностью и в структурной схеме соединены параллельно, при этом

$$P(T_{P\gamma}) = 1 - \prod_{j=\alpha_1}^{N_1} (1 - p_j) .$$

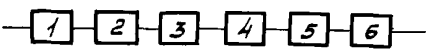
Основные признаки распознавания первичных матриц и соответствующие им структурные схемы

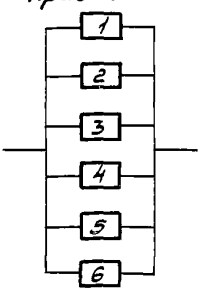
a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	N_1
a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	N_1
a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	N_1
a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	N_1
a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	N_1
a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	N_1
N_1	N_1	N_1	N_1	N_1	N_1	N_1^2

Признак 1

a_1						1
	a_2					1
		a_3				1
			a_4			1
				a_5		1
					a_6	1
1	1	1	1	1	1	N_1

Признак 2





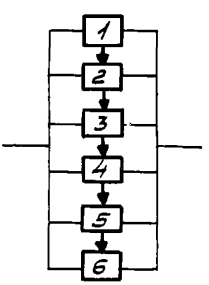
(Вариант 1)

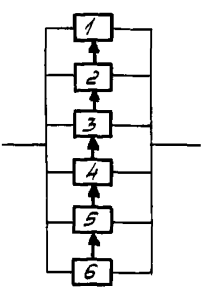
a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	6
	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	5
		a_3	a_4	a_5	a_6	4
			a_4	a_5	a_6	3
				a_5	a_6	2
					a_6	1
1	2	3	4	5	6	21

(Вариант 2)

a_1						1
a_1	a_2					2
a_1	a_2	a_3				3
a_1	a_2	a_3	a_4			4
a_1	a_2	a_3	a_4	a_5		5
a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	6
6	5	4	3	2	1	21

Признак 3





Черт.IO

Признак 3. Если у квадратной матрицы заполнены все ячейки справа (или слева) от диагонали и в первом случае

$$\left.\begin{array}{ll} x_1^{(1)} = N_1 & y_1^{(1)} = 1 \\ x_2^{(1)} = N_1 - 1 & y_2^{(1)} = 2 \\ \cdots\cdots\cdots & \\ x_{N_1-1}^{(1)} = 2 & y_{N_1-1}^{(1)} = N_1 - 1 \\ x_{N_1}^{(1)} = 1 & y_{N_1}^{(1)} = N_1 \end{array}\right\} \quad M_1 = \frac{N_1 + N_1^2}{2} \qquad (37)$$

или во втором случае

$$\left.\begin{array}{ll} x_1^{(1)} = 1 & y_1^{(1)} = N_1 \\ x_2^{(1)} = 2 & y_2^{(1)} = N_1 - 1 \\ \cdots\cdots\cdots & \\ x_{N_1-1}^{(1)} = N_1 - 1 & y_{N_1-1}^{(1)} = 2 \\ x_{N_1}^{(1)} = N_1 & y_{N_1}^{(1)} = 1 \end{array}\right\} \quad M_1 = \frac{N_1 + N_1^2}{2}, \qquad (38)$$

то такие матрицы являются медианными, у которых в первом случае по мере возрастания номеров деталей их характеристики доступности и характеристики помех монотонно растут, при этом

$$P(T_{P\gamma}) = P_I,$$

а во втором случае - монотонно убывают и

$$P(T_{P\gamma}) = P_{N_1}.$$

При этом в каждом случае в ряду одноименных коэффициентов нет одинаковых значений. Структурная схема представлена базовым элементом с признаком $x_j^{(1)} = N_1$ и $y_j^{(1)} = 1$, у которого под стрелкой

располагаются элементы в последовательности убывания значений $x_j^{(1)}$.

6.9. Для распознавания структурных схем сборочных единиц со сложной кинематикой, их первичные матрицы положений расчленяются на квадратные матрицы второго, третьего и более младшего порядка до тех пор, пока матрица младшего порядка не будет обладать одним из трех основных признаков. При этом каждая расчлененная матрица образует одну из параллельных ветвей сложной структурной схемы (кроме базовых элементов). Допускается корректировать структурные схемы с тем условием, чтобы ужесточить требования к ресурсам деталей.

Признаки распознавания и пример построения сложной структурной схемы по расчлененной первичной матрице положений даны в приложении 8.

6.10. Показатели легкосъемности деталей определяются по влиянию различных факторов, например,

- по массе снимаемых деталей $\alpha_j^{(1)} = \dfrac{\sum q_j}{G_i}$;
- по креплениям $\alpha_j^{(2)} = \dfrac{\sum n_{\kappa j}}{N_{\kappa i}}$;
- по стопорениям $\alpha_j^{(3)} = \dfrac{\sum n_{cтj}}{N_{cтi}}$;
- по соединениям $\alpha_j^{(4)} = \dfrac{\sum n_{nсj}}{N_{nсi}}$,

(39)

где $\sum q_j$ - суммарная масса всех снимаемых элементов совместно с отказавшим элементом;

$\sum n_{\kappa j}$ - число снимаемых крепежных элементов при замене j-ой детали;

$\sum n_{cтj}$ - то же для стопорных элементов;

$\sum n_{пcj}$ - то же для посадочных соединений;

G_i - масса сборочной единицы;

$N_{кi}$, $N_{стi}$, $N_{пci}$ - общее число крепежных элементов, стопорений и посадочных соединений в узле.

Принимая, в первом приближении, независимость и равнозначность действия каждого из факторов, получим средневзвешенную оценку доступности с учетом показателей легкосъемности

$$x_j^{(\alpha)} = \frac{\alpha_j^{(1)} + \alpha_j^{(2)} + \ldots + \alpha_j^{(n\alpha)}}{n_\alpha}, \qquad (40)$$

где n_α - число учитываемых факторов.

Примечание. Число учитываемых факторов может быть расширено при условии, что имеется возможность их количественной оценки.

6.II. Средние оперативные ремонтные затраты (или их ранги) при замене любой отказавшей детали определяются по формулам:

$$Z_j = Z_{пз}^{(j)} + Z_{pci}\, x_j^{(\alpha)} \left(1 + \frac{y_j^{(1)} - 1}{M_1}\right) \qquad (4I)$$

$$R_j = R_{пз}^{(j)} + R_{pci}\, x_j^{(\alpha)} \left(1 + \frac{y_j^{(1)} - 1}{M_1}\right), \qquad (42)$$

где $Z_{пз}^{(j)}, R_{пз}^{(j)}$ - средние ремонтные оперативные затраты (ранг), определяемые подготовительно-заключительными операциями, выполняемые на машине с учетом рабочей позы оператора и предназначенные для обеспечения необходимого доступа к сборочной единице в связи с заменой j-ой детали;

Z_{pci}, R_{pci} - средние ремонтные оперативные затраты (ранг), определяемые полной разборкой и последующей сборкой узла при его капитальном ремонте.

Здесь $Z_{pci} = Z_i - Z_{пзi}$; $R_{pci} = R_i - Z_{пзi}$,

$Z_{пзi}; R_{пзi}$ - средние ремонтные затраты (ранг) на подготовительно-заключительные операции при полной разборке i-го узла.

6.II.I. Понятие оперативных затрат (времени, продолжительности, трудоемкости) определяются компоновочным решением проектируемого изделия и отражают его ремонтопригодность.

6.II.2. Расчетное (табличное) оперативное время технологических переходов слесарных работ определено по общемашиностроительным нормативам времени на слесарные работы по ремонту оборудования, разработанным Центральным бюро промышленных нормативов по труду при НИИ труда Государственного комитета СМ СССР по вопросам труда и заработной платы.

6.II.3. Оперативная продолжительность (трудоемкость) ремонта отказавшего изделия вычисляется по оперативному времени слесарных работ только разборочно-сборочных и подготовительно-заключительных операций от начала работ первого исполнителя в составе подготовительных операций до их завершения последним исполнителем в составе заключительных операций.

6.II.4. Условные обозначения, принятые в данном разделе РД:

$\tau_1^{таб}$ - табличное время выполнения одного технологического перехода, мин;

τ_ℓ - оперативное время выполнения ℓ-го технологического перехода;

n_ℓ - число однотипных технологических переходов;

$\tau_{врj}$ - оперативное время, необходимое для снятия (установки) j-той детали;

$t_{прj}$ - оперативная продолжительность снятия (установки) одной j-той детали;

$К_{пов}$ - коэффициент повторения однотипных технологических переходов; если $n_\ell > 1$, то $К_{пов} = 0,95$;

$К_{пос}$ - коэффициент посадки, учитывающий её влияние на время выполнения технологического перехода (коэффициент в необходимых случаях указывается в примечаниях к таблицам времени переходов);

$К_{поз}$ - коэффициент позы, учитывающий положение рук, спины и ног оператора при выполнении им технологического перехода и влияние этих положений на время выполнения работы; коэффициенты даны в приложении 4.

6.II.4. Определяется вид слесарного инструмента, с помощью которого будет выполнен технологический переход и выбирается соответствующая таблица справочных данных.

6.II.5. Определяются размеры детали (её масса) и устанавливается по таблицам расчетное время технологического перехода слесарных работ.

6.II.6. Оперативное время выполнения одного или нескольких технологических переходов одного вида на одном рабочем месте определяется по формуле

$$\tau_\ell = \tau_\ell^{таб} n_\ell К_{пов} К_{пос} К_{поз} \qquad (40)$$

6.II.7. Оперативное время снятия (установки) одной j-той детали определяется как сумма всех технологических переходов, необходимых для снятия отказавшей или установки новой детали,

по выражению

$$\tau_{вpj} = \sum_{\ell=1}^{m} \tau_{j\ell} \,, \qquad (4I)$$

где m - число видов технологических переходов, необходимых для снятия (установки) одной детали;

$\tau_{j\ell}$ - оперативное время, определяемое по формуле (40) для j-той детали.

6.II.8. Оперативная продолжительность снятия (установки) j-той детали определяется по формуле

$$t_{пpj} = \sum_{\ell=1}^{m} \frac{1}{a_\ell} \tau_{j\ell} \,, \qquad (42)$$

где a_ℓ - число исполнителей ℓ-го технологического перехода.

6.II.9. Определяется последовательность выполнения слесарных операций, необходимых для ремонта сборочной единицы.

6.II.I0. Оперативная трудоемкость ремонта сборочной единицы определяется по сумме оперативного времени всех технологических переходов, необходимых для выполнения ремонта данного вида с заданной последовательностью технологических переходов,

$$S_i = \sum_{j=1}^{z} \tau_{вpj} \,, \qquad (43)$$

где z - число снимаемых деталей в данном виде ремонта.

6.II.II. Оперативная продолжительность ремонта сборочной единицы для заданной последовательности технологических переходов определяется по выражению

$$t_{пpi} = \sum_{j=1}^{z} t_{пpj} \,. \qquad (44)$$

6.I2. Требования к ресурсным показателям деталей должны разрабатываться с учетом расположения каждой детали в структурной схеме машины, то есть следует учитывать влияние последствий отказа деталей.

6.I3. Во всех случаях, когда деталь в структурной схеме узла расположена последовательно, наработка её до замены должна быть не менее наработки до замены самого узла, то есть

$$T_j = T_i \quad \text{при} \quad R_j = R_i \tag{45}$$

6.I4. В том случае, когда затраты на подготовительно- заключительные операции при полной разборке узла превышают или равны нормативу текущего ремонта, то ни одна деталь не должна иметь ресурс менее ресурса самого узла до его замены (или капитального ремонта).

6.I5. Если же затраты на подготовительно-заключительные операции меньше норматива текущего ремонта, то детали, расположенные параллельно, в структурной схеме узла могут быть заменены в любом текущем ремонте.

Условие для замены легкодоступных деталей базовых узлов можно записать в следующем виде

$$T_j = \begin{cases} T_i = N_i T_{ср1к} & \text{при} \quad R_{пз}^{(j)} \geqslant \alpha \\ \dfrac{T_{ср1к}}{N_i} & \text{при} \quad R_{пз}^{(j)} < \alpha \end{cases} \tag{46}$$

6.I6. Средний ресурс детали до замены определяется по выражению

$$T_{срj} = T_j K_j K_i \tag{47}$$

6.I7. По статистическим данным о ресурсах аналогичных деталей (либо, для ориентировочных оценок, по табл. 2) определяются коэффициенты вариации предполагаемого распределения каждой детали до замены, а также с помощью номограмм (черт. I-3) определяются коэффициенты $K_{\gamma j}$.

Гамма-процентный ресурс деталей определяется по выражению

$$T_{p\gamma j} = \frac{T_{pcpj}}{K_{\gamma j}} \qquad (48)$$

6.I8. Полученные значения ресурсных показателей деталей и узлов определяют номенклатуру запасных частей в каждом виде ремонтов системы ППР.

6.I9. Результаты расчета ресурсных показателей деталей сводятся в таблицу по следующей форме

№№ п/п	Наименование детали	P_j	T_j	K_j	K_i	T_{pcpj}	Вид закона распр.	V_j	$K_{\gamma j}$	$T_{p\gamma j}$	$T_{\gamma j}$

7. ЭТАП ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА
РАСЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ К ПОКАЗАТЕЛЯМ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ МАШИН, ВХОДЯЩИХ В КОМПЛЕКС

7.I. Для каждой машины и их сборочных единиц, входящих в комплекс, выполняется структурный анализ надежности по единому для комплекса критерию. Процедура выполнения структурного анализа дана в разд.6 настоящего РД.

7.2. Информация квадратных матриц положений по п. 6.7 используется для выполнения расчетов трудовых затрат и стоимости

замены каждой детали (см. черт. II) по п. 6.II.

7.3. Уточняется расчет по п. 3.7 настоящего РД, по результатам которого определяется основная номенклатура деталей, лимитирующих надежность всего комплекса по избранному критерию.

7.4. По деталям, сборочным единицам и машинам, входящих в комплекс и лимитирующих его надежность, разрабатываются меры по повышению их долговечности.

8. ЭТАП ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА - РАСЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ К ПОКАЗАТЕЛЯМ БЕЗОТКАЗНОСТИ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ ИЗДЕЛИЙ РЕМОНТИРУЕМОГО КЛАССА И КОМПЛЕКСА ИЗДЕЛИЙ

8.I. Основные обозначения, принятые в данном разделе РД:

T_o, T_{oi} - наработка на отказ машины и i-той сборочной единицы;

z_o - средние оперативные затраты труда на восстановление работоспособности машины после отказа.

8.2. Для определения требований к наработке на отказ используются значения наработок машины до замены деталей по п.п. 6.I3 и 6.I5, а также статистические данные.

Наработки на отказ сборочных единиц определяются по формуле

$$T_{oi} = \left(\sum_{j=1}^{s} \frac{n_j}{T_j} \right)^{-1}, \qquad (49)$$

где n_j - количество деталей данного наименования в составе сборочной единицы;

S - число деталей в узле.

8.3. Требования к наработке на отказ машины определяются по формуле

$$T_0 = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{K_i}{T_{0i}}} \qquad (50)$$

Примечание. При заданной периодичности технического обслуживания $t_{ТО-2}$ следует добиваться, чтобы $T_0 \approx t_{ТО-2}$ или было кратной этой периодичности.

8.4. Если необходимо определить требования к наработке машины до первого отказа, то по заданному критерию отказа Z_0 вычисляются новые ранги ремонтных затрат:

$$R_{0j} = \frac{Z_j}{Z_0} \qquad (5I)$$

Новый ряд рангов ремонтных затрат позволяет определить структурную схему и структурную формулу надежности сборочной единицы по заданному критерию отказа. Используя структурную формулу, можно получить кривую распределения наработок сборочной единицы до первого отказа, по которой определяется значение средней наработки до первого отказа (T_{0Ii}). Затем по формуле (50) определяется средняя наработка машины до первого отказа данной группы сложности (T_{0I}).

8.5. Требования к наработке на отказ для комплекса изделий определяются (после установления единого критерия отказов для всех изделий комплекса) по формулам (49) и (50).

8.6. Требования к показателям безотказности неремонтируемых изделий определяются, исходя из применения критерия отказа по п. 4.4.3.

9. ЭТАП ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА - РАСЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ К ПОКАЗАТЕЛЯМ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ

9.1. Основные обозначения, принятые в данном разделе РД:

$\tau_{то}, \tau_{тр}, \tau_{кр}, \tau_{в}$ – средние значения оперативной продолжительности выполнения одного вида технического обслуживания, текущего и капитального ремонтов и восстановления работоспособности после отказа, ч;

$a_{то}, a_{тр}, a_{кр}, a_{в}$ – среднее число исполнителей при техническом обслуживании, текущем и капитальном ремонтах и при восстановлении работоспособности машины после отказов;

$\overline{S}_{то}$ – удельная суммарная оперативная трудоемкость технического обслуживания;

$\tau_{ЕО}; S_{ЕО}$ – оперативная продолжительность и трудоемкость ежесменного технического обслуживания.

9.2. Средняя оперативная продолжительность (трудоемкость) ежесменного технического обслуживания определяется с учетом опыта эксплуатации аналогичных изделий, конструктивного исполнения проектируемой машины и с учетом норматива ежесменного технического обслуживания комплектующих агрегатов, узлов и базовых машин.

9.3. Оперативная трудоемкость ежесменного технического обслуживания (чел-ч) определяется по выражению

$$S_{ЕО} = \tau_{ЕО}\, a_{ЕО} . \qquad (52)$$

9.4. Удельная суммарная оперативная трудоемкость периоди-

ческого технического обслуживания вычисляется по всем видам техобслуживания за период ремонтного цикла по формуле

$$\bar{S}_{ТО} = \frac{\tau_{ТО1}\, n_{ТО1}\, a_{ТО1} + \tau_{ТО2}\, n_{ТО2}\, a_{ТО2} + \tau_{ТО3}\, n_{ТО3}\, a_{ТО3}}{T_{рср1к}}, \quad (53)$$

где $n_{ТО1}$; $n_{ТО2}$; $n_{ТО3}$ – число технических обслуживаний в ремонтном цикле всех видов (ТО-I, ТО-2, ТО-3).

9.5. Оперативная продолжительность капитального ремонта машины вычисляется по формуле (3) с учетом окончательного компоновочного решения машины.

9.6. Оперативная продолжительность текущего ремонта машины вычисляется с учетом ремонтных работ, определяемых по формулам (5) и (4I). При этом в любом виде текущего ремонта должно быть выполнено условие (в единицах оперативной продолжительности ремонта)

$$\tau_{тр} = \sum (z_i + z_j) \leqslant z_{тр}, \quad (54)$$

где

$\sum (z_i + z_j)$ – суммарная продолжительность капитальных ремонтов сборочных единиц и работ по замене деталей, приходящихся на один текущий ремонт машины.

9.7. Проверка правильности выбора требований к показателям плановых ремонтных воздействий осуществляется путем вычисления удельной суммарной оперативной продолжительности плановых ремонтов и технического обслуживания, значение которого не должно превышать величины

$$\bar{\tau}_{тор} = \frac{\tau_{ТО1}\, n_{ТО1} + \tau_{ТО2}\, n_{ТО2} + \tau_{ТО3}\, n_{ТО3} + \sum \tau_{тр} + \tau_{кр}}{T_{рср1к}} \quad (55)$$

где

$\sum \tau_{тр}$ – суммарная оперативная продолжительность всех видов текущих ремонтов за период ремонтного цикла.

9.8. Суммарная оперативная продолжительность восстановления работоспособности машины за период ремонтного цикла определяется по выражению

$$\sum \tau_в \leq T_{ср1к} \bar{\tau}_{тор} K_р \quad , \qquad (56)$$

где $K_р$ - коэффициент неплановых ремонтов, который рекомендуется принимать $K_р < 0,3$.

Тогда удельная суммарная обобщенная продолжительность плановых и неплановых ТО и ремонтов будет равна:

$$\bar{\tau}_{об} = \bar{\tau}_{тор} + \sum \tau_в = \bar{\tau}_{тор}(1 + K_р) \qquad (57)$$

9.9. Для промышленных тракторов, наблюдаемых в условиях подконтрольной эксплуатации, требования к удельной суммарной оперативной трудоемкости устранения последствий отказов определяются по формуле

$$\bar{S}_{отк} = \left(\bar{S}_{то} + \frac{\sum \tau_{тр} a_{тр} + \tau_{кр} a_{кр}}{T_{ср1к}}\right) K_р, \qquad (58)$$

где $\bar{S}_{то}$ - удельная суммарная оперативная трудоемкость периодических ТО, определяемая по формуле (53);

$a_{тр}, a_{кр}$ - среднее число исполнителей при проведении текущего и капитального ремонтов.

Показатели ремонтопригодности для промышленных тракторов даны в приложении 9.

9.I0. После определения показателей ремонтопригодности с учетом предварительно установленной на стадии технического задания периодичности текущих ремонтов составляется проект системы планово-предупредительных обслуживаний и ремонтов (ППР) по следующей форме.

Форма проекта системы ремонтов и технических обслуживаний

Виды ПТР	Периодичность ТО и ремонтов данного вида, часы наработки	Количество ПТР данного вида в одном ремонтном цикле	Средняя оперативная продолжительность ПТР данного вида, ч		Состав выполняемых работ в одном виде ПТР
			одного	суммарная за ремонтный цикл	

Используемые средства диагностирования включаются в работы по выполнению системы ПТР и указываются в составе этих работ.

Суммарная оперативная продолжительность всех видов ТО и ремонтов должна удовлетворять условию (55).

9.11. На основе принятой системы ПТР и наработки машины до замены деталей составляется перечень заменяемых в ремонтном цикле деталей по следующей форме.

Перечень заменяемых деталей в ремонтном цикле

Вид ремонта	Наработка машины до данного ремонта, ч	Наименование ремонтируемых сборочных единиц в данном виде ремонта	Наименование заменяемых деталей по каждой ремонтируемой сборочной единице

Примечание. Перечень заменяемых деталей используется для расчета прогноза объемов производства запасных частей.

9.12. Для промышленных тракторов, наблюдаемых в условиях подконтрольной эксплуатации, оценка значения удельной суммарной стоимости комплекта запасных частей основной номенклатуры за весь срок службы выполняется по выражению (рекомендуется выполнять расчет по каждой сборочной единице отдельно);

$$\bar{C}_{кзч} = 1{,}3\,\frac{Ц_{гзч}}{Ц_0}\left[T_a - \frac{e^{-B(\bar{h})}\left(e^{-B(\bar{h})T_a} - 1\right)}{e^{-B(\bar{h})} - 1}\right]\cdot 100\%\,, \qquad (59)$$

где $Ц_{гзч}$ – среднегодовой норматив расхода запасных частей на одну сборочную единицу или трактор, руб/год;

$Ц_0$ – оптовая цена сборочной единицы или трактора, руб;

T_a – амортизационный срок службы трактора, в годах;

$B(\bar{h})$ – эмпирическая величина, зависящая от средневзвешенной годовой нормы расхода запасных частей, определяется по черт. II.

$$B(\bar{h}) = 0{,}224\,\bar{h}^{0{,}44}, \qquad (60)$$

где $\bar{h}$ – средневзвешенная годовая норма расхода запасных частей всех наименований данной сборочной единицы трактора

$$\bar{h} = \frac{\sum_{j=1}^{S} h_{cpj}\, n_{3j}}{\sum_{j=1}^{S} n_{3j}}\,, \qquad (6I)$$

где $h_{cpj} = \frac{T_г}{T_j}$ – годовая норма расхода j-той заменяемой детали;

$T_г$ – годовой фонд наработки трактора

$$T_г = A_г\, K_и\,, \qquad (62)$$

где $A_г$ – астрономическая часовая продолжительность года

$$A_г = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ ч.}$$

Среднегодовой норматив расхода запасных частей сборочной единицы (машины) определяется по формуле

$$Ц_{гзч} = \sum_{j=1}^{S} h_{cpj}\, n_{3j}\, Ц_j\,, \qquad (63)$$

где $Ц_j$ - оптовая цена детали, руб.

Пример. Пусть среднегодовой норматив расхода запасных частей равен $Ц_{гзч}$ = 100 руб/год, а оптовая цена машины $Ц_0$ = 10000 руб, амортизационный срок службы T_a = 16 лет и эмпирическая величина $B(\bar{h})$ = 0,2.

Определить удельную суммарную стоимость комплекта запасных частей на машину за весь период эксплуатации.

Решение. По формуле (57) имеем:

$$\bar{C}_{кзч} = \frac{130}{10000}\left[16 - \frac{e^{-0,2}(e^{-3,2}-1)}{e^{-0,2}-1}\right] 100 = 1,3\,(16 - \frac{0,81(-0,96)}{(-0,19)})$$

$$= 15,5\%$$

Таким образом, за период работы машины до списания на запасные части будет истрачено около 1550 руб.

10. ЭТАП ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА РАСЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ К КОМПЛЕКСНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ НАДЕЖНОСТИ

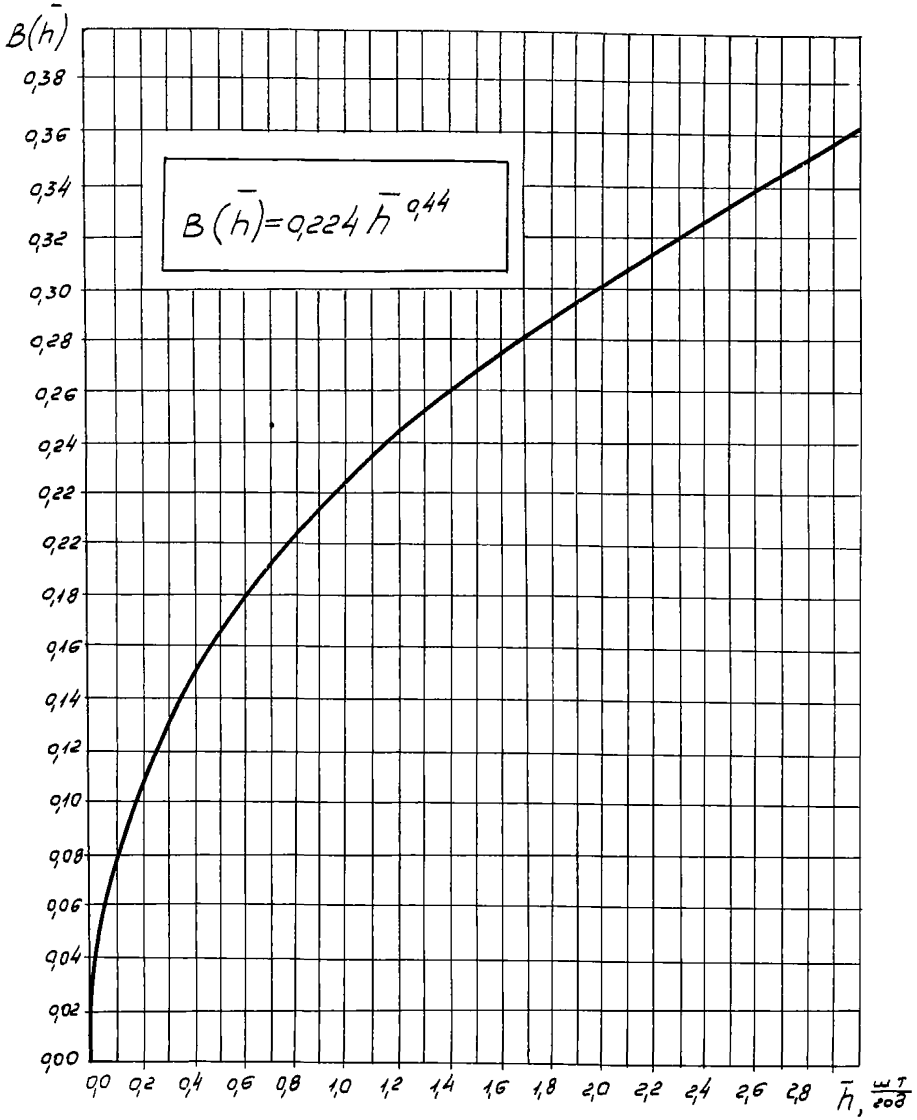
10.1. Коэффициент готовности машины вычисляется по формулам:

$$K_г = \frac{T_{ср1к}}{T_{ср1к} + \sum \bar{\tau}_в}, \qquad (64)$$

или

$$K_г = \frac{1}{1 + \bar{\tau}_{тор} \kappa_р} \qquad (65)$$

Кривая эмпирической зависимости $B(\bar{h})$



Среднегодовая норма расхода запасных частей
Черт.II

10.2. Коэффициент технического использования машины определяется по формулам

$$K_{ти} = \frac{T_{ср1к}}{T_{ср1к} + \sum \tau_в + \sum (\tau_{то} + \tau_{тр}) + \tau_{кр}}, \quad (66)$$

или

$$K_{ти} = \frac{1}{1 + (1 + K_р)\bar{\tau}_{тор}}, \quad (67)$$

10.3. Коэффициенты готовности и технического использования комплектующих сборочных единиц либо принимаются по нормативно-техническим документам на данную сборочную единицу, либо вычисляются по данным системы ППР для комплектующего изделия.

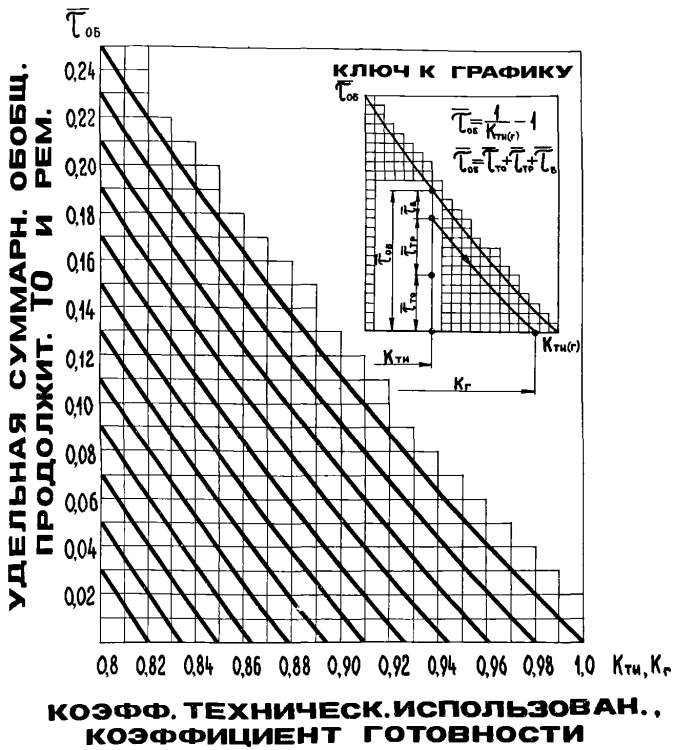
10.4. Расчетные значения коэффициентов готовности для всех групп машин должен быть более 0,9.

10.5. Расчетные значения коэффициентов технического использования для всех групп машин не рекомендуется принимать менее 0,85.

10.6. Соотношения между $K_{ти}$ и $K_г$ по составляющим $\bar{\tau}_{тор}$ и $\bar{\tau}_в$ проверяются на графике (черт. 12).

10.7. Выполняется уточнение требований к коэффициенту оперативной готовности, определяемому по формуле (30) с учетом окончательного компоновочного решения проектируемой машины.

Зависимость $K_{ти(г)}$ от $\bar{\tau}_{об}$



Черт. 12.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Справочное

Максимальные коэффициенты использования машин по времени

Таблица 6

Наименование машин	Коэффициенты использования			
	в году $К_{иг}$	в сутках $К_{ид}$	в смене $К_{с}$	общий $К_{и}$
Экскаваторы одноковшовые	0,65	0,67	0,50	0,22
Краны стреловые самоходные на автомобильном ходу	0,65	0,50	0,50	0,16
пневмоколесные, гусеничные	0,70	0,55	0,50	0,19
Краны башенные	0,60	0,60	0,70	0,26
Бульдозеры	0,65	0,50	0,70	0,23
Скреперы	0,50	0,67	0,70	0,23
Погрузчики	0,55	0,60	0,50	0,16
Автогрейдеры	0,60	0,50	0,60	0,18
Корчеватели	0,50	0,50	0,60	0,15
Катки самоходные и прицепные	0,55	0,67	0,80	0,33
Снегоочистители шнекороторные	0,45	0,60	0,80	0,21
Асфальтосмесительное оборудование	0,60	0,67	0,90	0,36
Автогудронаторы	0,55	0,50	0,80	0,22
Бетоносмесительные установки	0,60	0,67	0,80	0,32
Машины для сооружения бетонных покрытий	0,55	0,60	0,80	0,26
Автоцементовозы	0,60	0,60	0,75	0,27
Дробилки и грохоты	0,60	0,67	0,90	0,36

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Справочное

Расчетные сроки службы основных машин и оборудования

Подъемно-транспортные и погрузочно-разгрузочные машины и оборудование

Таблица 7

Наименование машины	Срок службы, лет	Наименование машины	Срок службы, лет
Погрузчики фронтальные одноковшовые гусеничные и пневмоколесные грузоподъемностью:		Подъемники строительные мачтовые:	
до I0 т	8	грузовые	5
более I0 т	I0	грузопассажирские высотой:	
		до 50 м	6
		более 50 м	I0
		Трубоукладчики грузоподъемностью:	
		до 35 т	9
		более 35 т	I0

Краны грузоподъемностью:

Башенные	Пневмоколесные	Гусеничные	Автомобильные	На спецшасси автомобильного типа	На коротковазовом шасси	Срок службы, лет
до I0т	до I6 т	-	до I0т	-	-	I0
-	-	до 40т	-	до I0 т	до I6 т	II
-	-	-	-	-	более I6-40т	I2
более I0-25т	I6-40т	-	более I0 т	-	-	I3
более 25-50т	40-I00т	более 40-I00т	-	более 40-I00 т	более 40т	I5
более 50т	более I00 т	более I00 т	-	более I00т	-	I6

Машины и оборудование для земляных и карьерных работ

Экскаваторы вместимостью ковша:

Гидравлические навесные	Универсальные гидравлические	Универсальные с механическим приводом	Экскаваторы-каналокопатели шнекоротор-ные, роторные и фрезерные, для отрытия каналов глубиной	Срок службы, лет
-	-	-	жл 2,0 м	6
0,25 куб.м	0,5 куб.м	0,4 куб.м	более 2,0 м	8
-	I,0 куб.м	0,65 куб.м	-	9
-	I,6 куб.м	I,0 куб.м	-	II
-	2,5 куб.м	I,25; 2,5 куб.м	-	I3

Наименование машины	Срок службы лет
Экскаваторы траншейные цепные и роторные для отрытия траншей глубиной:	
I,3-I,6 м	8
2,0-2,5 м	I0
Каналокопатели, планировщики, кавальероразравниватели	6
Каналоочистители внутриканальные для очистки каналов глубиной до I,2 м	5
Каналоочистители: для содержания каналов глубиной от 2,0 до 3,0 м, внутриканальные для очистки каналов глубиной до 4,0 м	7

Наименование машины	Срок службы лет
Автогрейдеры мощностью:	
до I35 л.с.	8
более I35 до 250 л.с.	I0
более 250 л.с.	I2
Грейдеры-элеваторы с двигателем мощностью:	
до I80 л.с.	8
более I80 л.с.	I0
Бульдозеры на базе тракторов класса тяги:	
3-4 тс	7
6-I5 тс	8
25 тс и более	I0
Бульдозеры-рыхлители на базе тракторов класса тяги:	
до 25 тс	7
более 25 тс	I0

Наименование машины	Срок службы лет
Скреперы прицепные с трактором и самоходные вместимостью ковша:	
до 15 куб.м	8
более 15 куб.м	10
Малогабаритная универсальная машина (по типу "Боб-Кет")	6
Кусторезы	8
Корчеватели, корчеватели-собиратели, машины фрезерные	6
Машины и оборудование для бетонных и отделочных работ	
Автобетоносмесители, бетонорастворосмесители стационарные и передвижные	8
Бетононасосы, известегасилки, растворонасосы	6
Бетоно- и растворосмесительные установки мобильные производительностью:	
до 30 куб.м/ч	8
более 30 куб.м/ч	10
Автобетононасосы	10
Автобетоновозы, автоцементовозы, авторастворовозы, разгрузочные машины и разгрузчики сыпучих и пылевидных материалов	8
Установки загрузочные	10
Виброформы для облицовки каналов монолитным: бетоном и заливщики швов	5
Плитоукладчики	7
Краскотерки, мелотерки, люльки самоподъемные электрические	6
Машины паркетошлифовальные, мозаично-шлифовальные, агрегаты окрасочные; шпаклевочные машины для сварки линолеума электрические	4
Станции малярные, мешалки для красочных составов	8
Агрегаты штукатурно-смесительные, машины для приготовления и подачи жестких растворов	5
Станции штукатурные	6
Цементпушки	8
Машины и оборудование для дорожно-строительных работ	
Автогудронаторы	10
Асфальтосмесительные установки производительностью:	8
до 100 т/ч	8
более 100 т/ч	10

Наименование машины	Срок службы лет
Асфальтоукладчики производительностью:	
100 т/ч	7
200÷300 т/ч	8
Битумоплавительные агрегаты и котлы битумные	3
Катки самоходные	6
Катки прицепные	8
Грунтосмесительные установки	6
Комплекты машин для скоростного строительства дорог и аэродромов	8
Фрезы дорожные (на тракторе)	8
Машины маркировочные	10
Парообразователи	5
Машины для ремонта дорожных покрытий	10

Сменное навесное оборудование к строительно-дорожным машинам

Гидромолоты	3
Бурильные установки	8

Наименование машины	Срок службы лет
Машины и оборудование для свайных работ	
Молоты свайные, дизельные штанговые, вибромолоты, молоты гидравлические простого и двойного действия	4
Молоты дизельные трубчатые	5
Вибропогружатели, виброразгрузчики, шпунтовыдергиватели, устройства для скручивания и срезки свай	5
Копры рельсовые для погружения свай длиной 12 м, 16 м, 20 м	11
Оборудование для устройства буронабивных свай	7

Машины и оборудование дробильно-размольное, сортировочное, обогатительное

Грохоты всех типов	7
Дробилки щековые и конусные	15
Дробилки прочие и дробильно-сортировочные агрегаты	10

Наименование машины	Срок службы лет
Машины и оборудование торфяной промышленности	
Машины для добычи и уборки кускового торфа	9
Машины для сушки кускового торфа: барабаны фрезерные, ворошилки, валкователи	9
Машины для погрузки кускового торфа: самоходные (краны), на тракторе (погрузчики), машины для подготовки торфяных залежей к эксплуатации и их ремонта, каналоочистители и каналокопатели торфяные, уплотнители поверхности штабеля, подборщики-погрузчики для добычи фрезерного торфа	9
Собиратели-погрузчики древесины, корчеватели роторные	6
Торфоперегружатели	I8
Машины и оборудование лесной промышленности	
Канатные установки	5,5
Машины валочные, валочно-пакетирующие и валочно-трелевочные	3,5
Челюстные погрузчики	5
Машины трелевочные, сучкорезные, погрузочно-транспортные	4
Установки раскряжевочные	7,5
Сплоточные машины, топлянно-подъемные агрегаты	8
Машины для корчевки пней	4,5
Машины и оборудование коммунального хозяйства	
Стиральные машины, поточные линии для стирки, отжима и сушки белья, машины для химической чистки и крашения одежды, паровоздушные камеры, адсорбционные установки, пятновыводные станки	7
Сушильные барабаны, прессы для глажения белья, комбинированные машины для стирки и отжима белья	8
Центрифуги	6
Сушильно-гладильные машины	I3
Поточные линии для глажения белья	9
Поливомоечные машины, снегоочистители, илососы, машины для гидродинамической очистки, вакуумные машины, мусоровозы, пломоечные машины	9

Наименование машины	Срок службы лет
Подметально-уборочные машины, пескоразбрасыватели, снегопогрузчики, водопылесосные, полотерные и льдоуборочные машины	8
Пожарная техника	
Пожарные автоцистерны, автомобили аэродромной службы, лесные, специальные пожарные автомобили, автонасосы рукавные, огнетушители	II
Стволы лафетные, зарядные станции, дымососы пожарные, насосные станции, насосы пожарные	9
Мотопомпы пожарные: переносные	9
прицепные	I0
Автолестницы, автоподъемники	II
Пожарные автомобили порошкового и комбинированного тушения	I3
Оборудование для производства строительных материалов	
Оборудование для добычи природного камня и производства изделий из ячеистого и плотных бетонов	8
Оборудование для обработки природного камня и производства теплоизоляционных материалов и изделий из минеральной ваты, керамических и гипсовых изделий, а также для производства рулонно-кровельных, гидроизоляционных материалов	I0
Оборудование для асбестовой промышленности	I0

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Справочные таблицы времени выполнения слесарных работ при ремонте машин

Таблица 8.

Время обдувки деталей (узлов) сжатым воздухом, мин

Длина детали, мм	Ширина детали, мм		
	100	200	300
100	0,15	0,23	0,30
200	0,19	0,30	0,40
300	0,22	0,35	0,45
400	0,25	0,39	0,50
500	0,26	0,42	0,54
600	0,28	0,44	0,58
700	0,30	0,46	0,61
800	0,31	0,48	0,64
900	0,32	0,50	0,67
1000	0,33	0,52	0,69

Таблица 9.

Время промывки деталей в ванне (групповой), мин

Число деталей в группе	Промывка деталей			
	окунанием		под струей	
	сложных	простых	сложных	простых
10	1,90	1,40	1,40	1,00
20	2,80	2,10	1,80	1,25
30	3,60	2,70	2,20	1,50
40	4,30	3,20	2,50	1,75
50	5,00	3,70	2,80	2,00
60	5,50	4,10	3,00	2,20
70	6,00	4,40	3,20	2,35
80	6,40	4,80	3,40	2,45
90	6,80	5,20	3,60	2,55
100	7,20	5,60	3,80	2,65

Таблица 10

Время (мин) промывки одной плоской детали в ванне

Ширина детали, мм	Длина, мм, детали											
	простой с гладкой поверхностью						сложной, с выступами, карманами и пр.					
	100	200	300	500	700	1000	100	200	300	500	700	1000
100	0,33	0,35	0,37	0,38	0,39	0,40	0,53	0,59	0,62	0,66	0,70	0,74
200	0,36	0,38	0,40	0,41	0,43	0,43	0,57	0,63	0,67	0,72	0,76	0,80
300	0,38	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,61	0,67	0,71	0,76	0,80	0,85
400	0,40	0,42	0,44	0,46	0,47	0,48	0,64	0,70	0,74	0,80	0,84	0,88
500	0,41	0,43	0,45	0,48	0,49	0,50	0,66	0,72	0,76	0,83	0,87	0,91
600	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,51	0,68	0,74	0,78	0,85	0,89	0,93
700	0,42	0,44	0,47	0,49	0,50	0,52	0,69	0,75	0,81	0,87	0,91	0,95
800	0,43	0,45	0,48	0,50	0,51	0,53	0,70	0,76	0,83	0,88	0,92	0,96
900	0,44	0,46	0,48	0,51	0,52	0,54	0,71	0,77	0,84	0,89	0,93	0,97
1000	0,45	0,46	0,49	0,52	0,53	0,55	0,72	0,78	0,85	0,90	0,94	0,98

Таблица II

Время (мин) очистки одной детали металлической щеткой вручную

Ширина детали, мм	Длина, мм, детали											
	простой с гладкой поверхностью						сложной с выступами, карманами и пр.					
	I00	200	400	600	800	I000	I00	200	400	600	800	I000
40	0,38	0,50	0,68	0,80	0,90	0,98	0,75	0,90	0I,20	I,35	I,48	I,50
80	0,45	0,60	0,85	I,00	I,I8	I,30	I,25	I,52	I,80	2,00	2,25	2,50
I20	0,53	0,72	I,00	I,20	I,38	I,53	I,60	2,00	2,30	2,60	2,85	3,I0
I60	0,60	0,82	I,I4	I,37	I,52	I,70	2,00	2,48	2,80	3,20	3,45	3,60
200	0,67	0,90	I,22	I,I8	I,68	I,85	2,25	2,75	3,25	3,60	4,00	4,I5
240	0,72	0,98	I,32	I,59	I,80	2,00	2,52	3,03	3,60	4,I0	4,45	4,65
280	0,76	I,05	I,4I	I,69	I,90	2,I3	2,75	3,35	4,00	4,50	4,85	5,I5
320	0,80	I,09	I,49	I,79	2,02	2,2I	3,05	3,75	4,40	4,90	5,25	5,60
360	0,84	I,I3	I,57	I,90	2,I3	2,32	3,30	4,00	4,75	5,30	5,75	6,00
400	0,88	I,I7	I,65	2,00	2,23	2,43	3,53	4,25	5,05	5,70	6,I5	6,50

Таблица I2

Время (мин) протирки одной детали вручную

Длина детали, мм	Ширина плоской детали (узла), мм				Диаметр цилиндрической детали (узла), мм			
	50	300	550	800	50	300	550	800
I00	0,I0	0,23	0,40	0,52	0,30	0,60	0,80	I,00
200	0,I2	0,33	0,54	0,69	0,42	0,92	I,20	I,40
300	0,I5	0,4I	0,63	0,80	0,5I	I,I3	I,43	I,70
400	0,I8	0,49	0,7I	0,90	0,62	I,3I	I,70	2,00
500	0,I9	0,53	0,79	0,99	0,70	I,48	I,90	2,20
600	0,20	0,59	0,85	I,08	0,79	I,60	2,08	2,45
700	0,2I	0,62	0,90	I,I2	0,83	I,79	2,23	2,66
800	0,22	0,66	0,95	I,I9	0,92	I,90	2,40	2,85
900	0,22	0,69	I,00	I,23	0,98	2,I0	2,60	3,05
I000	0,23	0,7I	I,04	I,3I	I,00	2,I0	2,75	3,20

Таблица I3

Время (мин) снятия (установки) с вала одной детали типа шкива вручную (посадка с зазором)

Длина посадки, мм	Снятие						Установка					
	детали массой, кг											
	2	4	6	8	I0	I2	2	4	6	8	I0	I2
I0	0,35	0,45	0,50	0,70	0,75	0,75	-	-	-	-	-	-
20	0,40	0,50	0,75	0,90	I,00	I,20	0,30	0,50	0,65	0,75	0,85	I,05
30	0,45	0,65	0,90	I,I5	I,30	I,50	0,45	0,70	0,95	I,I5	I,25	I,50
40	0,50	0,75	I,05	I,30	I,60	I,80	0,55	0,85	I,20	I,45	I,60	I,85
50	0,55	0,83	I,I5	I,50	I,75	2,00	0,65	I,00	I,40	I,65	I,85	2,20
60	0,60	0,90	I,25	I,65	I,85	2,25	0,75	I,I3	I,60	I,80	2,I5	2,50
70	0,65	I,00	I,35	I,75	2,I0	2,35	0,85	I,25	I,75	2,I0	2,35	2,75
80	0,68	I,07	I,45	I,85	2,25	2,65	0,90	I,35	I,85	2,30	2,65	3,00
90	0,70	I,I5	I,55	2,00	2,35	2,75	0,95	I,50	2,05	2,50	2,85	3,25
I00	0,72	I,20	I,65	2,I5	2,50	2,85	I,00	I,65	2,25	2,70	3,20	3,50

Примечание. Для переходной посадки $К_{пос}$ = I,4, для посадки с натягом $К_{пос}$ = I,5.

Таблица I4

Время (мин) снятия (установки) одной детали с плоскости с помощью подъемника

Масса детали, кг	Снятие						Установка					
	Детали длиной, мм											
	500	I000	I500	2000	2500	3000	500	I000	I500	2000	2500	3000
I00	0,60	I,I0	I,60	2,I0	2,60	3,I0	0,75	I,30	I,90	2,45	2,30	3,60
200	0,66	I,I5	I,65	2,I5	2,65	3,I5	0,80	I,35	I,95	2,50	2,35	3,65
300	0,72	I,20	I,70	2,20	2,70	3,20	0,85	I,40	2,00	2,55	2,40	3,70
400	0,75	I,25	I,75	2,25	2,75	3,25	0,90	I,45	2,05	2,60	2,45	3,75
500	0,77	I,30	I,80	2,30	2,80	3,30	0,95	I,50	2,I0	2,65	2,50	3,80
600	-	I,35	I,85	2,35	2,85	3,35	-	I,55	2,I5	2,70	2,55	3,85
700	-	I,40	I,90	2,40	2,90	3,40	-	I,60	2,20	2,75	2,60	3,90
800	-	I,45	I,95	2,45	2,95	3,45	-	I,65	2,25	2,80	2,65	3,95
900	-	I,50	2,00	2,50	3,00	3,50	-	I,70	2,30	2,85	2,70	4,00
I000	-	I,55	2,05	2,55	3,05	3,55	-	I,75	2,35	2,90	2,75	4,05

Таблица I5

Время (мин) снятия (установки) одной детали с плоскости вручную

Масса детали, кг	Снятие						Установка				
	детали длиной, мм										
	I00	200	300	400	600	800	I00	200	400	600	800
2	0,24	0,30	0,32	0,35	0,39	0,42	0,32	0,35	0,37	0,38	0,40
4	0,26	0,3I	0,35	0,37	0,4I	0,45	0,43	0,45	0,47	0,49	0,52
6	0,28	0,32	0,36	0,39	0,43	0,46	0,50	0,53	0,55	0,58	0,60
8	0,28	0,32	0,37	0,40	0,45	0,47	0,57	0,60	0,63	0,65	0,67
I0	0,29	0,34	0,38	0,4I	0,45	0,46	0,62	0,65	0,68	0,70	0,73
I2	0,29	0,35	0,39	0,42	0,46	0,50	0,66	0,70	0,73	0,75	0,78
I4	0,30	0,36	0,40	0,42	0,47	0,5I	0,70	0,74	0,78	0,80	0,83
I6	0,30	0,37	0,40	0,43	0,48	0,5I	0,74	0,78	0,82	0,85	0,87
I8	0,3I	0,38	0,40	0,44	0,48	0,52	0,78	0,82	0,87	0,90	0,92
20	0,3I	0,38	0,4I	0,44	0,48	0,52	0,8I	0,86	0,90	0,94	0,95

Таблица I6

Время (мин) вывертывания одного винта отверткой

Наибольшая длина резьбы, мм	Номинальный диаметр резьбы, мм							
	4	5	6	8	I0	I2	I6	20
8	0,2I	0,I8	0,I6	-	-	-	-	-
I0	0,25	0,22	0,20	-	-	-	-	-
I2	0,30	0,25	0,24	0,I8	-	-	-	-
I4	0,34	0,30	0,28	0,2I	-	-	-	-
I6	0,38	0,35	0,32	0,24	-	-	-	-
20	0,46	0,4I	0,36	0,30	0,27	-	-	-
25	0,57	0,50	0,45	0,38	0,33	0,43	-	-
30	0,67	0,60	0,53	0,44	0,40	0,5I	0,58	0,64
35	0,77	0,70	0,62	0,5I	0,46	0,58	0,66	0,73
40	0,87	0,79	0,70	0,58	0,53	0,67	0,74	0,83
45	0,99	0,88	0,78	0,65	0,59	0,75	0,83	0,95
50	I,09	0,96	0,88	0,72	0,66	0,82	0,93	I,04
55	I,20	I,04	0,97	0,79	0,72	0,9I	I,00	I,I4
60	-	I,08	I,05	0,86	0,79	I,02	I,09	I,24
65	-	-	I,I2	0,93	0,85	I,I0	I,I7	I,35
70	-	-	-	I,07	0,92	I,I6	I,26	I,43
80	-	-	-	-	0,98	I,22	I,43	I,62
90	-	-	-	-	-	I,28	I,60	I,82

Таблица Т7

Время (мин) ввертывания одного винта отверткой

Наибольшая длина резьбы, мм	Номинальный диаметр резьбы, мм							
	4	5	6	8	I0	I2	I6	20
8	0,32	0,24	0,22	–	–	–	–	–
I0	0,35	0,32	0,30	–	–	–	–	–
I2	0,38	0,35	0,34	0,30	–	–	–	–
I4	0,47	0,40	0,38	0,34	–	–	–	–
I6	0,50	0,45	0,42	0,36	–	–	–	–
20	0,6I	0,55	0,49	0,43	0,38	–	–	–
25	0,72	0,66	0,60	0,5I	0,46	0,55	–	–
30	0,84	0,78	0,70	0,59	0,52	0,64	0,83	I,00
35	0,95	0,88	0,80	0,67	0,59	0,74	0,93	I,I5
40	I,05	0,98	0,90	0,75	0,66	0,84	I,04	I,25
45	I,I5	I,08	I,00	0,83	0,73	0,94	I,I5	I,37
50	I,25	I,I8	I,I0	0,90	0,80	I,04	I,26	I,50
55	I,35	I,28	I,20	0,97	0,87	I,I4	I,37	I,62
60	–	I,38	I,30	I,04	0,95	I,24	I,48	I,75
65	–	–	I,40	I,I0	I,02	I,33	I,59	I,87
70	–	–	–	I,I5	I,09	I,42	I,70	2,00
80	–	–	–	–	I,22	I,6I	I,92	2,25
90	–	–	–	–	–	I,79	2,I4	2,50

Таблица I8

Время (мин) вывертывания одного винта торцовым ключом с поворотом на I80°

Наибольшая длина резьбы, мм	Номинальный диаметр резьбы, мм							
	4	5	6	8	I0	I2	I6	20
8	0,I9	0,I4	0,I2	-	-	-	-	-
I0	0,2I	0,I8	0,I6	-	-	-	-	-
I2	0,24	0,20	0,I9	0,I4	-	-	-	-
I4	0,27	0,24	0,22	0,I7	-	-	-	-
I6	0,30	0,28	0,25	0,I9	-	-	-	-
20	0,35	0,33	0,29	0,24	0,2I	-	-	-
25	0,46	0,40	0,36	0,30	0,26	0,34	-	-
30	0,54	0,48	0,42	0,35	0,3I	0,4I	0,47	0,5I
35	0,62	0,56	0,50	0,40	0,36	0,47	0,54	0,58
40	0,70	0,63	0,56	0,45	0,42	0,53	0,6I	0,66
45	0,79	0,70	0,62	0,50	0,48	0,60	0,68	0,76
50	0,87	0,77	0,70	0,56	0,53	0,66	0,75	0,83
55	0,96	0,83	0,78	0,62	0,58	0,72	0,82	0,9I
60	-	0,90	0,84	0,68	0,63	0,79	0,90	0,99
65	-	-	0,90	0,74	0,68	0,86	0,97	I,08
70	-	-	-	0,80	0,74	0,92	I,04	I,I4
80	-	-	-	-	0,84	I,05	I,I8	I,30
90	-	-	-	-	-	I,I8	I,33	I,45

Таблица I9

Время (мин) ввертывания одного винта торцовым ключом с поворотом на I80°

Наибольшая длина резьбы, мм	Номинальный диаметр резьбы, мм							
	4	5	6	8	I0	I2	I6	20
8	0,24	0,22	0,2I	-	-	-	-	-
I0	0,28	0.26	0,24	-	-	-	-	-
I2	0,32	0,29	0,27	0,24	-	-	-	-
I4	0,36	0,33	0,30	0,27	-	-	-	-
I6	0,40	0,37	0,34	0,29	-	-	-	-
20	0,49	0,44	0,39	0,34	0,30	-	-	-
25	0,58	0,53	0,48	0,40	0,36	0,44	-	-
30	0,69	0,62	0,56	0,46	0,42	0,52	0,65	0,80
35	0,80	0,72	0,64	0,5I	0,48	0,60	0,74	0,92
40	0,90	0,82	0,72	0,57	0,55	0,67	0,83	I,03
45	I,0I	0,90	0,80	0,62	0,59	0,75	0,92	I,I4
50	I,II	0,99	0,88	0,68	0,66	0,82	I,0I	I,24
55	I,22	I,07	0,96	0,74	0,72	0,90	I,I0	I,35
60	-	I,I4	I,04	0,79	0,77	0,98	I,I8	I,45
65	-	-	I,II	0,85	0,82	I,05	I,27	I,55
70	-	-	-	0,90	0,87	I,I3	I,36	I,65
80	-	-	-	-	0,93	I,28	I,54	I,85
90	-	-	-	-	-	I,43	I,7I	2,06

Таблица 20

Время (мин) вывертывания одного винта гайковертом

Наибольшая длина резьбы, мм	Номинальный диаметр резьбы, мм							
	4	5	6	8	I0	I2	I6	20
8	0,I7	0,I3	0,II	-	-	-	-	-
I0	0,I8	0,I5	0,I3	-	-	-	-	-
I2	0,2I	0,I8	0,I6	0,I3	-	-	-	-
I4	0,24	0,2I	0,I8	0,I5	-	-	-	-
I6	0,27	0,24	0,20	0,I7	-	-	-	-
20	0,32	0,28	0,25	0,2I	0,I9	-	-	-
25	0,40	0,35	0,3I	0,27	0,23	0,30	-	-
30	0,47	0,42	0,37	0,3I	0,28	0,36	0,40	0,45
35	0,54	0,47	0,43	0,36	0,33	0,40	0,47	0,52
40	0,6I	0,55	0,49	0,4I	0,37	0,48	0,53	0,59
45	0,69	0,62	0,55	0,45	0,42	0,53	0,59	0,66
50	0,76	0,69	0,62	0,50	0,46	0,58	0,66	0,73
55	0,84	0,75	0,68	0,55	0,5I	0,64	0,72	0,80
60	-	0,8I	0,74	0,60	0,55	0,7I	0,78	0,87
65	-	-	0,79	0,65	0,60	0,77	0,85	0,94
70	-	-	-	0,70	0,64	0,82	0,90	I,0I
80	-	-	-	-	0,73	0,92	I,04	I,I5
90	-	-	-	-	-	I,03	I,I6	I,28

Таблица 2I

Время (мин) ввертывания одного винта гайковертом

Наибольшая длина резьбы, мм	Номинальный диаметр резьбы, мм							
	4	5	6	8	I0	I2	I6	20
8	0,22	0,I9	0,I7	-	-	-	-	-
I0	0,24	0,22	0,20	-	-	-	-	-
I2	0,27	0,24	0,23	0,2I	-	-	-	-
I4	0,33	0,29	0,26	0,24	-	-	-	-
I6	0,35	0,32	0,29	0,25	-	-	-	-
20	0,43	0,38	0,34	0,3I	0,27	-	-	-
25	0,52	0,46	0,4I	0,36	0,32	0,38	-	-
30	0,6I	0,54	0,48	0,4I	0,36	0,45	0,57	0,70
35	0,70	0,62	0,55	0,46	0,4I	0,52	0,66	0,79
40	0,79	0,70	0,62	0,50	0,46	0,59	0,74	0,87
45	0,88	0,78	0,69	0,55	0,5I	0,66	0,82	0,96
50	0,97	0,86	0,76	0,59	0,56	0,72	0,90	I,06
55	I,06	0,94	0,83	0,64	0,6I	0,80	0,97	I,I5
60	-	I,02	0,90	0,69	0,67	0,87	I,05	I,23
65	-	-	0,97	0,74	0,7I	0,93	I,I3	I,32
70	-	-	-	0,79	0,76	0,99	I,22	I,4I
80	-	-	-	-	0,85	I,I2	I,34	I,60
90	-	-	-	-	0,95	I,25	I,50	I,76

Таблица 22

Время (мин) вывертывания одного болта (гайки) гаечным ключом с поворотом на 90^{0}

Наибольшая длина резьбы, мм	Номинальный диаметр резьбы, мм									
	6	8	I0-I2	I6	20	24	30	36	42	48
I0	0,34	0,28	0,24	-	-	-	-	-	-	-
I4	0,45	0,38	0,3I	-	-	-	-	-	-	-
20	0,62	0,53	0,42	0,53	-	-	-	-	-	-
25	0,76	0,66	0,5I	0,63	0,68	-	-	-	-	-
30	0,90	0,78	0,60	0,73	0,78	-	-	-	-	-
35	I,04	0,9I	0,69	0,83	0,89	0,95	-	-	-	-
40	I,I8	I,04	0,78	0,92	0,99	I,06	I,I9	-	-	-
45	I,32	I,I6	0,87	I,02	I,I0	I,I8	I,29	-	-	-
50	I,46	I,29	0,97	I,I2	I,20	I,29	I,40	I,54	-	-
55	-	I,4I	I,06	I,22	I,3I	I,40	I,50	I,67	I,76	-
60	-	I,54	I,I5	I,32	I,4I	I,5I	I,6I	I,79	I,90	-
65	-	-	I,24	I,4I	I,52	I,62	I,7I	I,92	2,04	2,I6
70	-	-	I,33	I,5I	I,62	I,74	I,82	2,04	2,I8	2,30
80	-	-	-	I,7I	I,83	I,96	2,03	2,30	2,46	2,58
90	-	-	-	I,90	2,04	2,I8	2,24	2,55	2,74	2,86
I00	-	-	-	-	2,25	2,4I	2,45	2,80	3,02	3,I4
II0	-	-	-	-	2,46	2,63	2,66	3,05	3,30	3,42
I20	-	-	-	-	-	2,86	2,87	3,30	3,58	3,70
I30	-	-	-	-	-	-	3,08	3,56	3,86	3,98
I40	-	-	-	-	-	-	-	3,8I	4,I4	4,26

Таблица 23

Время (мин) ввертывания одного болта (гайки) гаечным ключом с поворотом на 90°

Наибольшая длина резьбы, мм	Номинальный диаметр резьбы, мм									
	6	8	I0-I2	I6	20	24	30	36	42	48
I0	0,56	0,42	0,42	-	-	-	-	-	-	-
I4	0,73	0,57	0,53	-	-	-	-	-	-	-
20	0,98	0,80	0,70	0,80	-	-	-	-	-	-
25	I,I9	0,99	0,84	0,96	I,07	-	-	-	-	-
30	I,40	I,I8	0,98	I,I2	I,23	-	-	-	-	-
35	I,6I	I,36	I,I2	I,28	I,39	I,48	-	-	-	-
40	I,82	I,55	I,26	I,44	I,55	I,65	I,75	-	-	-
45	2,03	I,74	I,40	I,60	I,7I	I,82	I,92	-	-	-
50	2,24	I,93	I,54	I,76	I,88	I,99	2,I0	2,30	-	-
55	-	2,I9	I,68	I,92	2,04	2,I6	2,27	2,50	2,66	-
60	-	2,3I	I,82	2,09	2,20	2,32	2,45	2,70	2,86	-
65	-	-	I,96	2,25	2,36	2,49	2,62	2,90	3,05	3,I5
70	-	-	-	2,4I	2,52	2,66	2,80	3,II	3,25	3,36
80	-	-	-	2,73	2,84	3,00	3,I5	3,5I	3,64	3,78
90	-	-	-	3,05	3,I6	3,33	3,50	3,92	4,03	4,20
I00	-	-	-	-	3,49	3,67	3,85	4,33	4,42	4,62
II0	-	-	-	-	3,8I	4,00	4,20	4,73	4,82	5,04
I20	-	-	-	-	-	4,34	4,55	5,I4	5,2I	5,46
I30	-	-	-	-	-	-	4,90	5,54	5,60	5,88
I40	-	-	-	-	-	-	-	5,95	5,99	6,30

Таблица 24

Время (мин) вывертывания одного болта (гайки) гаечным ключом с поворотом на 180^0

Наибольшая длина резьбы, мм	Номинальный диаметр резьбы, мм									
	6	8	10-12	16	20	24	30	36	42	48
10	0,24	0,20	0,17	-	-	-	-	-	-	-
14	0,32	0,27	0,22	-	-	-	-	-	-	-
20	0,44	0,38	0,30	0,38	-	-	-	-	-	-
25	0,54	0,47	0,36	0,45	0,48	-	-	-	-	-
30	0,64	0,56	0,43	0,52	0,56	-	-	-	-	-
35	0,74	0,65	0,49	0,59	0,64	0,68	-	-	-	-
40	0,84	0,74	0,56	0,66	0,71	0,76	0,85	-	-	-
45	0,94	0,83	0,62	0,73	0,78	0,84	0,92	-	-	-
50	1,04	0,92	0,69	0,80	0,86	0,92	1,00	1,10	-	-
55	-	1,01	0,75	0,87	0,94	1,00	1,07	1,19	1,26	-
60	-	1,10	0,82	0,94	1,01	1,08	1,15	1,28	1,36	-
65	-	-	0,88	1,01	1,09	1,16	1,23	1,37	1,46	1,54
70	-	-	0,95	1,08	1,16	1,24	1,30	1,46	1,56	1,64
80	-	-	-	1,22	1,31	1,40	1,45	1,64	1,76	1,84
90	-	-	-	1,36	1,46	1,56	1,60	1,82	1,96	2,04
100	-	-	-	-	1,61	1,72	1,75	2,00	2,16	2,24
110	-	-	-	-	1,76	1,88	1,90	2,18	2,36	2,44
120	-	-	-	-	-	2,04	2,05	2,36	2,56	2,64
130	-	-	-	-	-	-	2,20	2,54	2,76	2,84
140	-	-	-	-	-	-	-	2, 2	2,96	3,04

Таблица 25

Время (мин) ввертывания одного болта (гайки) гаечным ключом с поворотом на 180°

Наибольшая длина резьбы, мм	Номинальный диаметр резьбы, мм									
	6	8	I0-I2	I6	20	24	30	36	42	48
I0	0,40	0,30	0,30	-	-	-	-	-	-	-
I4	0,52	0,4I	0,38	-	-	-	-	-	-	-
20	0,70	0,57	0,50	0,57	-	-	-	-	-	-
25	0,85	0,7I	0,60	0,68	0,76	-	-	-	-	-
30	I,00	0,84	0,70	0,80	0,88	-	-	-	-	-
35	I,I5	0,98	0,80	0,9I	0,99	I,06	-	-	-	-
40	I,30	I,II	0,90	I,03	I,II	I,I8	I,25	-	-	-
45	I,45	I,25	I,00	I,I4	I,22	I,30	I,37	-	-	-
50	I,60	I,38	I,I0	I,26	I,34	I,42	I,50	I,64	-	-
55	-	I,5I	I,20	I,37	I,45	I,54	I,62	I,78	I,90	-
60	-	I,65	I,30	I,49	I,57	I,66	I,75	I,93	2,04	-
65	-	-	I,40	I,60	I,68	I,78	I,87	2,07	2,I8	2,25
70	-	-	I,50	I,72	I,80	I,90	2,00	2,22	2,32	2,40
80	-	-	-	I,95	2,03	2,I4	2,25	2,5I	2,60	2,70
90	-	-	-	2,I8	2,26	2,38	2,50	2,80	2,88	3,00
I00	-	-	-	-	2,49	2,62	2,75	3,09	3,I6	3,30
II0	-	-	-	-	2,72	2,86	3,00	3,38	3,44	3,60
I20	-	-	-	-	-	3,I0	3,25	3,67	3,72	3,90
I30	-	-	-	-	-	-	3,50	3,96	4,00	4,20
I40	-	-	-	-	-	-	-	4,25	4,28	4,50

Таблица 26

Время (мин) вывертывания одного болта (гайки) гайковертом

Наибольшая длина резьбы, мм	Номинальный диаметр резьбы, мм									
	6	8	I0-I2	I6	20	24	30	36	42	48
I0	0,I7	0,I4	0,I2	-	-	-	-	-	-	-
I4	0,22	0,I9	0,I6	-	-	-	-	-	-	-
20	0,3I	0,27	0,2I	0,27	-	-	-	-	-	-
25	0,38	0,33	0,26	0,3I	0,34	-	-	-	-	-
30	0,45	0,39	0,30	0,36	0,39	-	-	-	-	-
35	0,52	0,45	0,35	0,4I	0,44	0,48	-	-	-	-
40	0,59	0,52	0,39	0,46	0,50	0,53	0,60	-	-	-
45	0,66	0,58	0,44	0,5I	0,55	0,59	0,65	-	-	-
50	0,73	0,64	0,48	0,56	0,60	0,64	0,70	0,77	-	-
55	-	0,7I	0,53	0,6I	0,65	0,70	0,75	0,83	0,88	-
60	-	0,77	0,57	0,66	0,7I	0,76	0,8I	0,90	0,95	-
65	-	-	0,62	0,7I	0,76	0,8I	0,86	0,96	I,02	I,08
70	-	-	0,66	0,76	0,8I	0,87	0,9I	I,02	I,09	I,I5
80	-	-	-	0,85	0,92	0,98	I,0I	I,I5	I,23	I,29
90	-	-	-	0,95	I,02	I,09	I,I2	I,27	I,37	I,43
I00	-	-	-	-	I,I3	I,20	I,22	I,40	I,5I	I,57
II0	-	-	-	-	I,23	I,32	I,33	I,53	I,65	I,7I
I20	-	-	-	-	-	I,43	I,43	I,65	I,79	I,85
I30	-	-	-	-	-	-	I,54	I,78	I,93	I,99
I40	-	-	-	-	-	-	-	I,90	2,07	2,I3

Таблица 27

Время (мин) ввертывания одного болта (гайки) гайковертом

Наибольшая длина резьбы, мм	Номинальный диаметр резьбы, мм									
	6	8	I0-I2	I6	20	24	30	36	42	48
I0	0,28	0,2I	0,2I	-	-	-	-	-	-	-
I4	0,36	0,29	0,27	-	-	-	-	-	-	-
20	0,49	0,40	0,35	0,40	-	-	-	-	-	-
25	0,60	0,49	0,42	0,48	0,54	-	-	-	-	-
30	0,70	0,59	0,49	0,56	0,62	-	-	-	-	-
35	0,80	0,68	0,56	0,64	0,70	0,74	-	-	-	-
40	0,9I	0,78	0,63	0,72	0,78	0,83	0,87	-	-	-
45	I,0I	0,87	0,70	0,80	0,86	0,9I	0,96	-	-	-
50	I,I2	0,97	0,77	0,88	0,94	0,99	I,05	I,I5	-	-
55	-	I,06	0,84	0,96	I,02	I,08	I,I4	I,25	I,33	-
60	-	I,I5	0,9I	I,04	I,I0	I,I6	I,22	I,35	I,43	-
65	-	-	0,98	I,I2	I,I8	I,25	I,3I	I,45	I,53	I,57
70	-	-	I,05	I,20	I,26	I,33	I,40	I,55	I,62	I,68
80	-	-	-	I,36	I,42	I,50	I,57	I,76	I,82	I,89
90	-	-	-	I,53	I,58	I,67	I,75	I,96	2,02	2,I0
I00	-	-	-	-	I,74	I,83	I,92	2,I6	2,2I	2,3I
II0	-	-	-	-	I,90	2,00	2,I0	2,37	2,4I	2,52
I20	-	-	-	-	-	2,I7	2,27	2,57	2,60	2,73
I30	-	-	-	-	-	-	2,45	2,77	2,80	2,94
I40	-	-	-	-	-	-	-	2,97	3,00	3,I5

Таблица 28

Время (мин) вывертывания (ввертывания) одной шпильки

Диаметр резьбы шпильки, мм	Длина, мм									
	вывертывания					ввертывания				
	I0	20	30	40	50	I0	20	30	40	50
Вывертывание (ввертывание) с помощью солдатика										
6	0,22	0,36	-	-	-	0,35	0,60	-	-	-
8	0,I8	0,30	0,4I	-	-	0,30	0,50	0,70	-	-
I0	0,I6	0,25	0,35	0,45	-	0,25	0,43	0,60	0,73	-
I2	-	0,28	0,38	0,47	0,57	-	0,48	0,65	0,80	0,95
I6	-	0,3I	0,42	0,54	0,64	-	0,54	0,72	0,90	I,05
20	-	-	0,46	0,57	0,69	-	-	0,78	0,97	I,I6
24	-	-	0,50	0,62	0,74	-	-	0,84	I,04	I,24
32	-	-	0,55	0,68	0,80	-	-	0,9I	I,I4	I,37
36	-	-	0,60	0,7I	0,83	-	-	0,98	I,20	I,42
Вывертывание (ввертывание) с помощью двух гаек										
6	0,52	0,8I	-	-	-	0,70	I,05	-	-	-
8	0,45	0,70	0,92	-	-	0,60	0,90	I,I5	-	-
I0	0,39	0,60	0,80	I,00	-	0,47	0,78	I,00	I,20	-
I2	-	0,65	0,85	I,05	I,25	-	0,80	I,0I	I,22	I,43
I6	-	0,75	I,00	I,20	I,40	-	0,87	I,I7	I,38	I,60
20	-	-	I,I0	I,30	I,50	-	-	I,30	I,50	I,70
24	-	-	I,I5	I,40	I,62	-	-	I,35	I,62	I,85
32	-	-	I,27	I,58	I,80	-	-	I,52	I,80	2,08
36	-	-	I,39	I,6I	I,88	-	-	I,60	I,90	2,40

Таблица 29

Время (мин) свертывания (навертывания) одной круглой гайки

Диаметр резьбы, мм	Длина свертывания, мм					Длина навертывания, мм				
	20	40	60	80	I00	20	40	60	80	I00
20	0,45	0,75	I,00	I,20	I,40	0,62	0,98	I,30	I,60	I,80
40	0,55	0,88	I,20	I,44	I,66	0,74	I,I8	I,55	I,85	2,20
60	0,6I	I,00	I,35	I,60	I,88	0,82	I,30	I,70	2,I0	I,40
80	0,66	I,I0	I,42	I,75	2,02	0,90	I,4I	I,85	2,25	2,60
I00	0,70	I,I5	I,5I	I,85	2,I5	0,97	I,52	I,95	2,40	2,75
I20	0,74	I,20	I,60	I,95	2,22	I,00	I,60	2,05	2,50	2,90
I40	0,77	I,24	I,65	2,03	2,30	I,02	I,65	2,I5	2,60	3,05
I60	0,80	I,28	I,70	2,08	2,38	I,04	I,70	2,23	2,70	3,20

Таблица 30

Время (мин) расстопорения и стопорения проволокой резьбовых соединений

Число мест стопорений	Диаметр проволоки, мм							
	при расстопорении				при стопорении			
	1,0	1,5	2,0	2,5	1,0	1,5	2,0	2,5
2	0,44	0,48	0,52	0,55	0,60	0,80	0,96	I,II
3	0,42	0,45	0,48	0,5I	0,5I	0,70	0,85	I,00
4	0,40	0,43	0,46	0,48	0,47	0,6I	0,76	0,90
5	0,38	0,42	0,45	0,47	0,42	0,57	0,70	0,82
6	0,37	0,4I	0,44	0,46	0,40	0,55	0,65	0,78
7	0,36	0,40	0,43	0,45	0,40	0,5I	0,6I	0,73
8	0,35	0,39	0,42	0,44	0,39	0,49	0,59	0,70
9	0,34	0,38	0,4I	0,43	0,38	0,48	0,58	0,68
10	0,33	0,37	0,40	0,42	0,38	0,47	0,57	0,66

Таблица 3I

Время (мин) расстопорения и стопорения стопорными шайбами резьбовых соединений

Толщина шайбы, мм	Число отогнутых лопаток шайбы							
	при расстопорении				при стопорении			
	I	2	3	4	I	2	3	4
0,25	0,I2	0,I8	0,23	0,25	0,20	0,29	0,34	0,38
0,50	0,I5	0,22	0,27	0,30	0,24	0,32	0,38	0,43
0,75	0,I8	0,25	0,30	0,34	0,26	0,35	0,4I	0,47
I,00	0,20	0,27	0,32	0,37	0,28	0,37	0,44	0,50
I,25	0,22	0,28	0,34	0,39	0,29	0,39	0,46	0,53
I,50	0,23	0,30	0,36	0,4I	0,30	0,40	0,48	0,55
I,75	0,24	0,32	0,38	0,43	0,3I	0,4I	0,50	0,56
2,00	0,25	0,33	0,39	0,45	0,32	0,42	0,5I	0,57
2,25	0,25	0,34	0,40	0,47	0,33	0,43	0,52	0,58
2,50	0,25	0,35	0,4I	0,48	0,34	0,44	0,53	0,59

Таблица 32

Время (мин) расстопорения и стопорения шплинтами соединений

Длина шплинта, мм	Диаметр шплинта, мм									
	при расстопорении					при стопорении				
	2	4	6	8	I0	2	4	6	8	I0
I0	0,05	0,I0	-	-	-	0,I3	0,I6	-	-	-
20	0,I0	0,I6	0,22	-	-	0,I8	0,23	0,29	-	-
30	0,I3	0,20	0,28	-	-	0,22	0,28	0,35	-	-
40	0,I5	0,24	0,32	0,38	-	0,26	0,33	0,40	0,46	-
50	0,I7	0,26	0,36	0,42	-	0,28	0,38	0,45	0,50	-
60	-	-	0,40	0,46	0,54	-	-	0,50	0,55	0,6I
80	-	-	0,45	0,53	0,62	-	-	0,54	0,63	0,70
I00	-	-	0,50	0,60	0,70	-	-	0,57	0,7I	0,78
I20	-	-	0,55	0,67	0,78	-	-	0,60	0,79	0,86
I40	-	-	0,59	0,74	0,85	-	-	0,62	0,87	0,94

Таблица 33

Время (мин) снятия и установки одного уплотнительного кольца (диска, сальника) и продвижение его по валу на длину до 200 мм

Материал кольца	Посадка кольца	Диаметр кольца, мм							
		20	40	60	80	I00	I20	I60	200
		Снятие кольца							
Сталь (чугун)	С зазором	0,I8	0,20	0,2I	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26
	С натягом	0,3I	0,35	0,37	0,39	0,40	0,4I	0,42	0,43
Резина	С зазором	0,20	0,22	0,24	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30
	С натягом	0,32	0,37	0,4I	0,43	0,46	0,47	0,49	0,50
Фетр	То же	0,4I	0,52	0,60	0,67	0,72	0,78	0,87	0,94
Войлок	С зазором	0,40	0,50	0,58	0,62	0,68	0,72	0,80	0,86
		Установка кольца							
Сталь (чугун)	С зазором	0,2I	0,24	0,27	0,28	0,29	0,30	0,3I	0,32
	С натягом	0,39	0,43	0,46	0,49	0,50	0,52	0,56	0,59
Резина	С зазором	0,24	0,26	0,29	0,30	0,3I	0,32	0,32	0,33
	С натягом	0,40	0,45	0,49	0,5I	0,53	0,55	0,57	0,60
Фетр	То же	0,59	0,68	0,77	0,82	0,88	0,94	I,05	I,I5
Войлок	С зазором	0,49	0,60	0,69	0,75	0,8I	0,87	0,98	I,09

Таблица 34

Время (мин) снятия и установки пружинных колец в выточку на валу

Длина продвижения кольца, мм	Внутренний диаметр кольца, мм									
	при снятии					при установке				
	40	80	I20	I60	200	40	80	I20	I60	200
20	0,23	0,33	0,42	0,5I	0,56	0,50	0,60	0,70	0,80	0,85
50	0,35	0,50	0,64	0,74	0,8I	0,80	I,I0	I,20	I,35	I,50
I00	0,45	0,65	0,83	0,98	I,08	I,25	I,65	I,85	2,I5	2,20
I60	0,55	0,80	I,00	I,I7	I,30	I,70	2,I5	2,50	2,75	2,85
250	0,68	0,99	I,22	I,42	I,52	2,30	2,80	3,25	3,60	3,80

Таблица 35

Время (мин) снятия и установки пружинных колец в выточку в отверстие

Длина продвижения кольца, мм	Наружный диаметр кольца, мм									
	при снятии					при установке				
	25	50	75	I00	I25	25	50	75	I00	I25
I0	0,40	I,00	I,60	2,30	3,00	0,40	I,I0	I,80	2,60	3,60
20	0,45	I,20	2,00	2,70	3,40	0,50	I,30	2,20	3,00	4,00
50	0,50	I,40	2,30	3,20	4,I0	0,60	I,50	2,60	3,60	4,80
80	0,60	I,60	2,50	3,50	4,40	0,70	I,70	2,80	4,00	5,40
I00	0,70	I,70	2,70	3,70	4,70	0,80	I,85	3,I0	4,30	5,70

Таблица 36

Время (мин) ручной выпрессовки (запрессовки) подшипников качения

Длина выпрессовки или запрессовки, мм	Выпрессовка подшипника					Запрессовка подшипника				
	Диаметр вала (отверстия), мм					Диаметр вала (отверстия)				
	20	40	60	80	I00	20	40	60	80	I00
	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
Сверхлегкая и особолегкая серии (посадка с натягом)										
20	0,65	0,75	0,82	0,87	0,90	0,78	0,93	0,99	I,05	I,I0
30	0,76	0,88	0,95	I,00	I,08	0,95	I,I0	I,20	I,27	I,35
40	0,85	0,99	I,07	I,I2	I,I9	I,I0	I,25	I,37	I,46	I,54
50	0,92	I,07	I,I5	I,20	I,24	I,20	I,38	I,50	I,60	I,67
60	I,00	I,I4	I,23	I,30	I,37	I,30	I,50	I,62	I,73	I,8I
70	I,05	I,20	I,30	I,37	I,44	I,40	I,60	I,73	I,86	I,97
80	I,I0	I,25	I,36	I,44	I,5I	I,50	I,70	I,84	I,99	2,08
90	I,I5	I,32	I,42	I,50	I,59	I,58	I,80	I,98	2,I0	2,20
I00	I,20	I,37	I,48	I,56	I,65	I,64	I,90	2,I7	2,20	2,30
II0	I,25	I,42	I,54	I,62	I,70	I,72	2,00	2,26	2,30	2,40
Легкая серия (посадка с натягом)										
20	0,59	0,68	0,74	0,78	0,8I	0,70	0,84	0,89	0,95	0,99
30	0,68	0,79	0,86	0,90	0,97	0,86	0,99	I,08	I,I4	I,22
40	0,77	0,89	0,96	I,0I	I,07	0,99	I,I3	I,23	I,3I	I,38
50	0,83	0,96	I,04	I,08	I,I2	I,08	I,24	I,35	I,44	I,50
60	0,90	I,03	I,II	I,I7	I,23	I,I7	I,35	I,46	I,56	I,63
70	0,95	I,08	I,I7	I,23	I,30	I,26	I,44	I,56	I,67	I,77
80	0,99	I,I3	I,22	I,30	I,36	I,35	I,53	I,66	I,79	I,87
90	I,04	I,I9	I,28	I,35	I,43	I,42	I,62	I,78	I,89	I,98
I00	I,08	I,23	I,33	I,40	I,49	I,48	I,7I	I,95	I,98	2,07
II0	I,I3	I,28	I,59	I,46	I,53	I,55	I,80	2,03	2,07	2,I6

Продолжение табл 36

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
Средняя и тяжелая серии (посадка с натягом)										
20	0,78	0,90	0,98	I,04	I,08	0,94	I,I2	I,I9	I,26	I,32
30	0,9I	I,06	I,I4	I,20	I,30	I,I4	I,32	I,44	I,52	I,62
40	I,02	I,I9	I,28	I,34	I,43	I,32	I,50	I,64	I,75	I,83
50	I,I0	I,28	I,38	I,44	I,49	I,44	I,66	I,80	I,92	2,00
60	I,20	I,37	I,48	I,56	I,64	I,56	I,80	I,94	2,08	2,I7
70	I,26	I,44	I,56	I,64	I,73	I,68	I,92	2,08	2,23	2,36
80	I,32	I,50	I,63	I,73	I,8I	I,80	2,04	2,2I	2,39	2,50
90	I,38	I,58	I,70	I,80	I,9I	I,89	2,I6	2,38	2,52	2,64
I00	I,44	I,64	I,78	I,87	I,98	I,97	2,28	2,60	2,64	2,76
II0	I,50	I,70	I,85	I,94	2,04	2,06	2,40	2,7I	2,76	2,88

Таблица 37

Время (мин) вывертывания (ввертывания) одной детали (штуцера, масленки, пробки, барашка) вручную

Длина вывертывания и ввертывания, мм	Вывертывание					Ввертывание				
	Размеры резьбы штуцеров, мм					Размеры резьбы штуцеров, мм				
	М30х х0,75	М16х0,75 М30хI	М12х0,75 М48хI,5	М8х0,75 М12хI М16хI М24хI	М8хI М16хI,5 М24х2 М48х3	М30х х0,75	М16х0,75 М30хI	М12х0,75 М48хI,5	М8х0,75 М12хI М16хI М24хI	М8хI М16хI,5 М24х2 М48х3
I0	0,40	0,30	0,29	0,27	0,25	0,78	0,60	0,58	0,57	0,50
I5	0,52	0,42	0,39	0,36	0,3I	I,04	0,90	0,85	0,80	0,70
20	0,64	0,53	0,49	0,44	0,39	I,40	I,20	I,I0	I,02	0,9I
25	0,76	0,64	0,59	0,52	0,47	I,68	I,50	I,40	I,25	I,I2
30	0,88	0,75	0,69	0,60	0,54	2,00	I,77	I,65	I,50	I,38
35	I,0I	0,86	0,79	0,69	0,62	2,30	2,02	I,90	I,75	I,60
40	I,I2	0,98	0,89	0,78	0,70	2,60	2,30	2,I5	2,00	I,80
45	I,25	I,09	0,99	0,87	0,77	2,90	2,48	2,40	2,25	2,02
50	I,36	I,20	I,08	0,95	0,84	3,20	2,8I	2,70	2,45	2,22

Таблица 38

Время (мин) регулирования зазора в зацеплении одной пары зубчатых конических колес

Модуль зубчатого зацепления, мм	Диапазон регулировки зазора (мм) с помощью								
	Кронштейна			Допрессовки			Компенсационных прокладок		
	до 0,I	от 0,I до 0,2	св.0,2	до 0,I	от 0,I до 0,2	св. 0,2	до 0,I	от 0,I до 0,2	св. 0,2
2	2,50	2,00	I,30	5,00	3,50	2,90	8,60	6,00	5,00
3	3,00	2,50	I,70	6,00	4,I0	3,20	9,20	6,50	5,50
4	3,60	3,00	2,00	6,90	4,70	3,60	I0,00	7,00	6,00
5	4,I0	3,30	2,20	7,80	5,30	4,I0	I0,80	7,50	6,40
6	4,50	3,70	2,40	8,50	5,90	4,50	II,20	8,00	6,80
7	5,00	4,00	2,60	9,I0	6,30	5,00	II,80	8,30	7,00
8	5,I5	4,20	2,80	9,70	6,70	5,I5	I2,I0	8,50	7,I0
9	5,30	4,30	3,00	I0,00	7,00	5,30	I2,30	8,70	7,20

Таблица 39

Время (мин) регулирования зазора в зацеплении червячных пар перемещением червячного колеса

Модуль зубчатого зацепления, мм	Способ регулировки по степеням точности с помощью								
	винтов			допрессовки			компенсационных колец		
	6-7	8-9	I0	6-7	8-9	I0	6-7	8-9	I0
I	3,00	2,50	2,00	5,00	4,00	3,60	7,00	6,00	5,50
2	4,00	3,50	3,00	6,00	5,00	4,60	9,00	7,50	6,80
3	5,00	4,30	4,00	7,60	6,I0	5,60	I0,70	8,80	7,90
4	6,00	5,I0	4,60	8,90	7,I0	6,50	I2,00	I0,00	9,00
5	6,80	5,80	5,I0	I0,00	8,I0	7,30	I3,50	II,00	I0,00
6	7,50	6,20	5,70	I0,90	9,00	8,00	I4,50	I2,00	I0,80
7	7,90	6,50	6,00	II,40	9,80	8,60	I5,30	I3,00	II,30

Таблица 40

Время (мин) осевого регулирования положения цилиндрических шестерен на валу с помощью компенсационных колец

Диаметр вала, мм	Длина посадки, мм					
	20	50	80	I25	I60	250
20	4,00	5,00	5,50	6,00	6,50	7,20
40	4,90	6,00	6,80	7,50	8,00	8,90
60	5,70	7,00	7,90	8,80	9,20	I0,20
80	6,40	8,00	9,00	9,90	I0,50	II,80
I00	7,00	8,80	9,80	II,00	II,60	I3,60
I20	7,70	9,50	I0,50	II,80	I2,50	I4,00
I40	8,I0	I0,00	II,I0	I2,50	I3,I0	I4,70
I60	8,30	I0,50	II,60	I3,00	I3,70	I5,20
I80	8,50	I0,60	II,90	I3,20	I3,90	I5,80
200	8,60	I0,70	I2,00	I3,50	I4,I0	I6,00

Таблица 41

Время (мин) осевого регулирования положения подшипников качения на валу

Наружный диаметр подшипника, мм	Регулирование			
	винтом с дистанционной шайбой	гайкой со стопорной шайбой	гайкой с контргайкой	компенсационными кольцами
20	1,00	2,50	3,00	4,00
40	1,50	3,20	4,10	5,00
60	2,00	3,80	5,00	5,80
80	2,10	4,20	5,60	6,50
100	2,20	4,60	6,00	7,00
120	2,35	4,90	6,40	7,50
140	2,50	5,10	6,80	8,10
160	2,60	5,20	7,00	8,60
180	2,70	5,30	7,20	9,00
200	2,80	5,40	7,40	9,30

Таблица 42

Таблица перевода времени

Минуты	Часы	Минуты	Часы	Минуты	Часы	Минуты	Часы
			Доли минут				
0,05	0,0008	0,30	0,0050	0,55	0,0092	0,80	0,0I33
0,I0	0,00I7	0,35	0,0058	0,60	0,0I00	0,85	0,0I42
0,I5	0,0025	0,40	0,0067	0,65	0,0I08	0,90	0,0I50
0,20	0,0033	0,45	0,0075	0,70	0,0II7	0,95	0,0I58
0,25	0,0042	0,50	0,0083	0,75	0,0I25	I,00	0,0I67
			Целые минуты				
I	0,0I7	I6	0,267	3I	0,5I7	46	0,767
2	0,033	I7	0,283	32	0,533	47	0,783
3	0,050	I8	0,300	33	0,550	48	0,800
4	0,067	I9	0,3I7	34	0,567	49	0,8I7
5	0,083	20	0,333	35	0,583	50	0,833
6	0,I00	2I	0,350	36	0,600	5I	0,850
7	0,II7	22	0,367	37	0,6I7	52	0,867
8	0,I33	23	0,383	38	0,633	53	0,883
9	0,I50	24	0,400	39	0,650	54	0,900
I0	0,I67	25	0,4I7	40	0,667	55	0,9I7
II	0,I83	26	0,433	4I	0,683	56	0,933
I2	0,200	27	0,450	42	0,700	57	0,950
I3	0,2I7	28	0,467	43	0,7I7	58	0,967
I4	0,233	29	0,483	44	0,733	59	0,983
I5	0,250	30	0,500	45	0,750	60	I,000

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Обязательное

Расчетные значения коэффициентов,
учитывающих рабочую позу оператора

ПОЛОЖЕНИЕ ЧАСТЕЙ ТЕЛА В РАБОЧЕЙ ПОЗЕ № I

Руки	На уровне груди
Спина	Прямая, без напряжения
Ноги	Прямые в свободной постановке

ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Верхний уровень зоны	h_1 = I400...I500 мм
Нижний уровень зоны	h_2 = II00...I200 мм
Предельная удаленность зоны	l = 500...700 мм

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЗЫ

$K_{поз}$ = I,0



ПОЛОЖЕНИЕ ЧАСТЕЙ ТЕЛА В РАБОЧЕЙ ПОЗЕ № 2

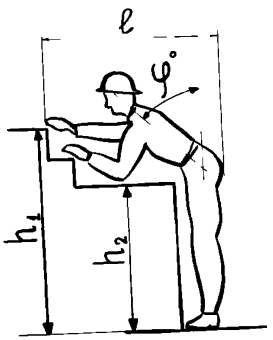
Руки	На уровне или выше уровня плеч
Спина	Изогнута, умеренно напряженная
Ноги	Прямые, умеренно напряженные

ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Верхний уровень зоны	h_1 = 1300...1500 мм
Нижний уровень зоны	h_2 = 900...1000 мм
Угол наклона корпуса	φ = 30°...45°
Предельная удаленность зоны	ℓ = 800...1000 мм

Коэффициент позы

$K_{поз}$ = 1,5



ПОЛОЖЕНИЕ ЧАСТЕЙ ТЕЛА В РАБОЧЕЙ ПОЗЕ № 3

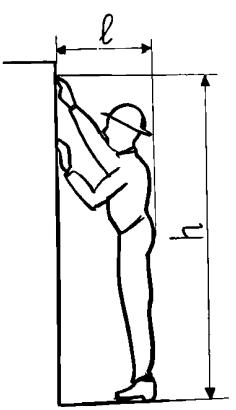
Руки	На уровне или выше уровня плеч
Спина	Прямая, умеренно напряженная
Ноги	Прямые в свободной постановке

ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Верхний уровень зоны	h = I800...2000 мм
Минимальная длина рабочего пространства	ℓ = 700 мм

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЗЫ

$K_{поз}$ = I,65



ПОЛОЖЕНИЕ ЧАСТЕЙ ТЕЛА В РАБОЧЕЙ ПОЗЕ № 4

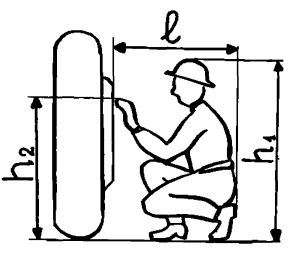
Руки	Обе руки ниже уровня плеч
Спина	Прямая, с малым наклоном, без напряжения
Ноги	Согнуты в коленях, корпус опирается на пятки одной или обеих ног

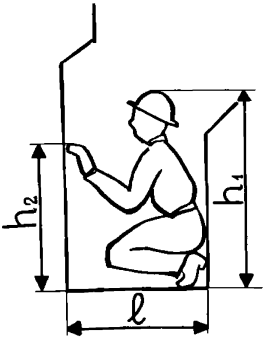
ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ПОЗЫ

Минимальная высота рабочего пространства	h_1 = I200 мм
Средняя высота рабочей зоны	h_2 = 600...800 мм
Минимальная длина рабочего пространства	ℓ = I000 мм

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЗЫ

$K_{поз}$ = 2,0





ПОЛОЖЕНИЕ ЧАСТЕЙ ТЕЛА В РАБОЧЕЙ ПОЗЕ № 5

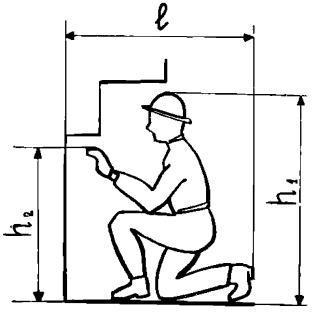
Руки	Обе руки ниже уровня плеч
Спина	Прямая или с наклоном, без напряжения
Ноги	Согнуты в коленях, корпус опирается на одно или оба колена

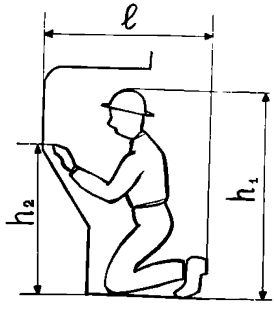
ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Минимальная высота рабочей зоны	h_1= I300 мм
Средняя высота рабочей зоны	h_2= 600...800 мм
Минимальная длина рабочей зоны	ℓ = I000 мм

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЗЫ

$K_{поз}$ = 2,3





ПОЛОЖЕНИЕ ЧАСТЕЙ ТЕЛА В РАБОЧЕЙ ПОЗЕ № 6

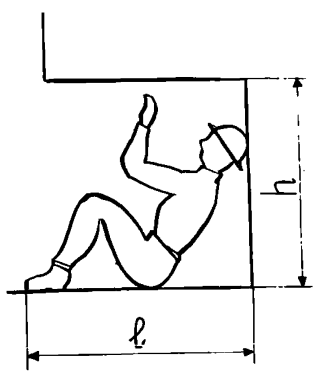
Руки	На уровне или выше уровня плеч
Спина	Прямая, напряженная, корпус незначительно отклонен назад
Ноги	Согнуты в коленях при положении сидя на полу, либо корпус опирается на пятки

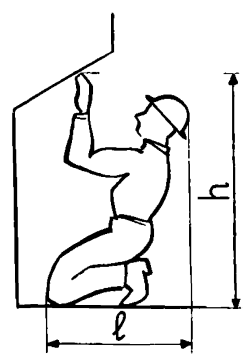
ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Максимальная высота рабочего пространства	h = 1100...1200 мм
Минимальная длина рабочей зоны	ℓ = 600...700 мм

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЗЫ

$K_{поз}$ = 2,6





ПОЛОЖЕНИЕ ЧАСТЕЙ ТЕЛА В РАБОЧЕЙ ПОЗЕ № 7

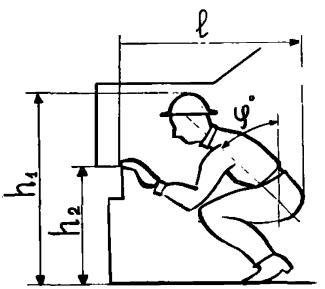
Руки	На уровне или выше уровня плеч
Спина	Изогнута, напряжена
Ноги	Согнуты в коленях, удерживают корпус усилием мышц

ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Минимальная высота рабочего пространства	h_1 = II00 мм
Средняя высота рабочей зоны	h_2 = 500...700 мм
Наклон корпуса при работе	φ = 30°...45°
Минимальная длина рабочего пространства	ℓ = I000 мм

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЗЫ

$K_{поз}$ = 2,7



ПОЛОЖЕНИЕ ЧАСТЕЙ ТЕЛА В РАБОЧЕЙ ПОЗЕ № 8

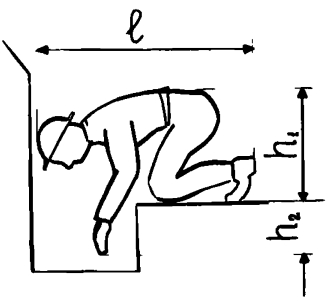
Руки	Опущены ниже уровня пола, находясь по отношению к корпусу на уровне или выше уровня плеч
Спина	Наклонена в горизонтальное положение, изогнута, напряжена
Ноги	Согнуты, корпус опирается на оба колена

ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Минимальная высота рабочего пространства	h_1 = 700 мм
Максимальная глубина рабочей зоны ниже уровня пола	h_2 = 400 мм
Минимальная длина рабочей зоны	ℓ = 1000 мм

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЗЫ

$K_{поз}$ = 3,3



ПОЛОЖЕНИЕ ЧАСТЕЙ ТЕЛА В РАБОЧЕЙ ПОЗЕ № 9

Руки	Подняты над корпусом на уровне груди при работе лежа на спине
Спина	Прямая, без напряжения
Ноги	Свободно согнуты или лежат на полу

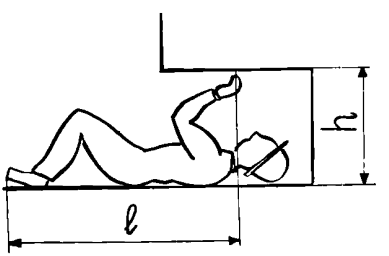
ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Максимальная высота рабочей зоны h = 700 мм

Минимальная длина рабочей зоны ℓ = 2000 мм

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЗЫ

$K_{поз}$ = I,6



ПОЛОЖЕНИЕ ЧАСТЕЙ ТЕЛА В РАБОЧЕЙ ПОЗЕ № 10

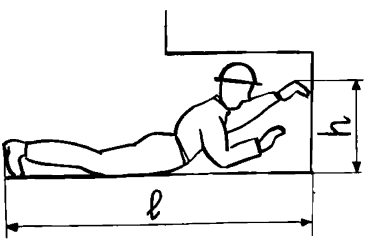
Руки	Из положения лежа на животе руки вытянуты вперед
Спина	Изогнута вверх, напряжена
Ноги	Лежат на полу в произвольном положении

ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Высота рабочей зоны	h = 300...500 мм
Минимальная длина рабочего пространства	ℓ = 2000 мм

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЗЫ

$K_{поз}$ = 2,7



ПОЛОЖЕНИЕ ЧАСТЕЙ ТЕЛА В РАБОЧЕЙ ПОЗЕ № II

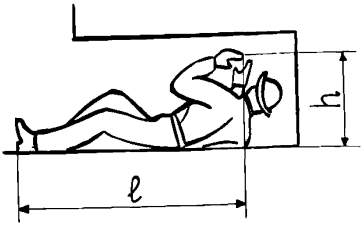
Руки	Из положения лежа на боку (или с повернутым корпусом) руки вытянуты перед грудью
Спина	Напряжена, повернута
Ноги	Лежат на полу в произвольном положении

ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Высота рабочей зоны	h = 400...600 мм
Минимальная углубленность рабочей зоны	ℓ = I500 мм

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЗЫ

$K_{поз}$ = 3,5



ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Справочное

С Х Е М А Р А С Ч Е Т А

требований к ресурсным показателям сборочных единиц машины (стадия разработки технического задания)

Автогрейдер должен обладать восьмидесятипроцентным ресурсом, равным

$$T_{p80} = 6600 \text{ ч.}$$

За критерий предельного состояния автогрейдера принимаются оперативные затраты на слесарные работы, необходимые для разборки-сборки машины при агрегатно-узловой технологии их выполнения.

Нижняя граница этих затрат определяется средними оперативными затратами, необходимыми для проведения текущего ремонта, и принимается равной α=0,5 от оперативных затрат, соответствующих работам по устранению причин предельного состояния.

Компоновочное решение машины дает возможность расчленить её на II сборочных единиц (черт. 5.I):

I - коробка перемены передач (левая);

2 - то же (правая);

3 - силовая установка;

4 - установка радиаторов;

5 - балансирная тележка;

6 - рыхлительное оборудование;

7 - бульдозерное оборудование;

8 - тяговая рама с отвалом;

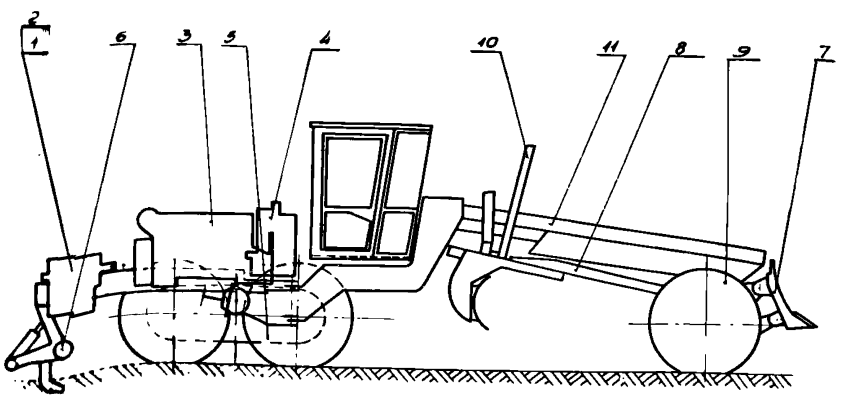
9 - передний мост;

I0 - система управления;

II - рама основная.

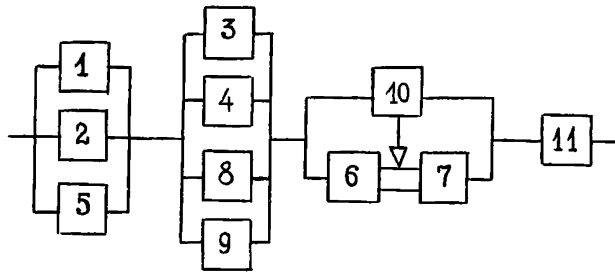
Разборка автогрейдера при капитальном ремонте производится в последовательности присвоенных выше порядковых номеров сборочных единиц.

Автогрейдер тяжелого типа: I - КПП (левая), 2 - КПП (правая), 3 - силовая установка, 4 - установка радиаторов, 5 - балансирная тележка, 6 - рыхлительное оборудование, 7 - бульдозерное оборудование, 8 - тяговая рама с отвалом, 9 - передний мост, I0 - система управления, II - рама основная.



Черт. 5.I

Структурная схема надежности автогрейдера тяжелого типа



Черт.5.2.

Общие оперативные затраты на подготовку к ремонту, поузловую разборку, сборку и на заключительные операции при агрегатно-узловой технологии капитального ремонта определены по формуле и даны в табл.5.I. (при коэффициенте сокращения $\Delta_{пр}$=I)

$$Z_{нр} = Z_{подг} + Z_{разб} + Z_{сб} + Z_{закл}$$

Таблица 43

Оперативные затраты времени на поузловую разборку и сборку автогрейдера

i	I	2	3	4	5	6	7	8	9	IO	II	$\frac{Z_{подг}}{Z_{закл}}$	$Z_{нр}$
$Z_{разб}$	2	2	2	2	2	I	I	3	3	6	4	5	
$Z_{сб}$	3	3	3	3	3	2	2	5	5	I2	6	IO	90

Оперативные затраты времени при подетальной разборке - сборке агрегатов и узлов машины вычисляются по формуле

$$Z_i = Z'_{подг} + Z'_{разб} + Z'_{сб} + Z'_{закл}$$

Результаты расчета сведены в табл.44, где также представлены значения рангов ремонтных затрат, вычисленных по формуле

$$R_i = \frac{Z_i}{Z_{кр}}$$

Таблица 44

Оперативные затраты времени на подетальную разборку и сборку узлов и агрегатов автогрейдера

i	Состав ремонтных затрат					
	$Z_{подг}$	$Z_{разб}$	$Z_{сб}$	$Z_{закл}$	Z_i	R_i
I	2	8	I2	8	30	0,33
2	2	8	I2	8	30	0,33
3	2	4	5	6	I7	0,I9
4	3	3	5	5	I6	0,I8
5	5	8	I6	5	34	0,38
6	I	2	3	2	8	0,09
7	I	2	3	2	8	0,09
8	5	3	6	8	22	0,25
9	4	8	I6	8	36	0,40
I0	8	20	30	I6	74	0,83
II	40	4	5	60	I09	I,2I

Относительные затраты текущего ремонта для данного типа машин оцениваются величиной

$$Z_{тр} = d \cdot Z_{кр} = 0,5 \cdot 90 = 45 \text{ ч}$$

Наиболее вероятные ремонтные комплекты по критерию предельных затрат представлены в табл.45.

Таблица 45

Ремонтные комплекты автогрейдера

i	I	2	5	3	4	8	9	7	6	I0	II
R_i	0,33	0,33	0,38	0,I9	0,I8	0,25	0,4	0,09	0,09	0,83	I,2I
$\sum R_i$		I,04			I,02				I,0I		I,2I
№ комплекта		I			II				III		IУ

Структурная схема надежности автогрейдера, соответствующая ремонтных комплектам, показана на черт. 5.2.

Из структурной схемы видно, что машина имеет четыре наиболее вероятных ремонтных комплекта, в состав которых входят следующие сборочные единицы:

I ремонтный комплект - СЕ №№ I, 2 и 5

II ремонтный комплект - СЕ №№ 3, 4, 8 и 9

III ремонтный комплект - СЕ №№ I0 (6 и 7)

IУ ремонтный комплект - СЕ № II.

Вероятность обеспечения ресурса машины, в соответствии со структурной схемой, вычисляется по выражению:

$$P(T_{рг}) = P_{I-5} \cdot P_{3-9} \cdot P_{I0-7} \cdot P_{II} \geqslant 0,8 ,$$

где $P_{I-5} = I - (I-P_I)(I-P_2)(I-P_5)$

$P_{3-9} = I - (I-P_3)(I-P_4)(I-P_3)(I-P_9)$

$P_{I0-7} = P_{I0}$

Принимаем требования к вероятностям обеспечения ресурсов сборочных единиц

$P_1=P_2=\ldots=P_9=0,8$

$P_{10}=0,95$

$P_{11}=0,95$

Тогда

$P_{1-5}=1-(1-0,8)^3=0,992$

$P_{3-9}=1-(1-0,8)^4=0,9984$

$P(T_{P\gamma})=0,992\cdot0,9984\cdot0,95\cdot0,95=0,89>0,8$

Для учета степени участия каждой сборочной единицы в рабочих и вспомогательных операциях автогрейдера принимаем следующие соотношения использования машины в этих операциях:

- в транспортном режиме 0,10
- при работе грейдером 0,65
- при работе бульдозером 0,10
- при работе рыхлителем 0,15

Итого 1,00

Исходя из принятых соотношений определяются коэффициенты использования сборочных единиц по формуле (табл.46).

$K_i \doteq K_{i\text{гр}} \cdot K_{iв}$,

где $K_{i\text{гр}}$ - коэффициент использования узла по нагрузке;

$K_{iв}$ - коэффициент использования узла по времени.

Таблица 46

Коэффициенты использования узлов

i	I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
$K_{iв}$	I,0	I,0	I,0	I,0	I,0	0,I5	0,I0	0,65	I,0	I,0	I,0
$K_{iгр}$	0,7	0,7	0,7	I,0	0,7	I,0	I,0	0,70	0,3	I,0	0,7
K_i	0,7	0,7	0,7	I,0	0,7	0,I5	0,I0	0,45	0,3	I,0	0,7

С учетом физической природы процесса достижения предельного состояния каждой сборочной единицы и с учетом рекомендаций настоящего РД примем следующие виды и коэффициенты вариации распределений ресурсов сборочных единиц (табл.47).

Таблица 47

Выбор законов распределения ресурсов узлов

	I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
Вид распр.	Н	Н	Н	В	Н	В	В	В	В	В	В
ϑ_i	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,6	0,6	0,45	0,35	0,4	0,5

Для автогрейдера в целом (с учетом статистической информации о машинах-аналогах) распределение ресурса в первом приближении примем нормальным с коэффициентом вариации 0,2, для которого коэффициент K_{γ} = I,2.

Тогда средний ресурс автогрейдера до первого капитального ремонта будет равен

$$T_{рср} = T_{р80} \cdot K_{80} = 6600 \cdot I,2 = 7920.$$

Принимаем $T_{рср}$ = 8000 ч.

Требования к наработке машины до замены или капитального ремонта каждой сборочной единицы определяются по решающему правилу

$$T_i = \begin{cases} T_{pcp} \cdot N_i & \text{при } R_i \geq \alpha \\ \dfrac{T_{pcp}}{N_i} & \text{при } R_i < \alpha \end{cases}$$

Средние ресурсы узлов определяются по формуле

$$T_{pcpi} = T_i \cdot K_i$$

Тогда гамма-процентные ресурсы будут равны

$$T_{p\gamma i} = \frac{T_{pcpi}}{K_{\gamma i}}$$

Результаты расчета сведены в табл.48.

Таблица 48

Требования к ресурсам сборочных единиц

i	Наименование сборочных единиц	P_i	T_i, ч	K_i	T_{pcpi}, ч	Вид распр. ресур.	ϑ_i	$K_{\gamma i}$	$T_{p\gamma i}$	$T_{\gamma i}$
I.	КПП (левая)	0,8	8000	0,7	5600	Н	0,2	I,2	4670	6670
2.	КПП (правая)	0,8	8000	0,7	5600	Н	0,2	I,2	4670	6670
3.	Силовая установка	0,8	8000	0,7	5600	Н	0,2	I,2	4670	6670
4.	Установка радиаторов	0,8	I6000	I,0	I6000	В	0,4	I,54	I0400	I0400
5.	Балансирная тележка	0,8	8000	0,7	5600	Н	0,25	I,28	4370	6240
6.	Рыхлительное оборудование	0,8	I6000	0,I5	2400	В	0,6	2,I0	II40	7600
7.	Бульдозерное оборудование	0,8	I6000	0,I0	I600	В	0,6	2,I0	760	7600
8.	Тяговая рама с отвалом	0,8	I6000	0,45	7200	В	0,45	I,67	4320	9600
9.	Передний мост	0,8	I6000	0,3	4800	В	0,35	I,47	3260	I0880
I0.	Система управления	0,95	I7360	I,0	I7360	В	0,4	2,67	6500	6500
II.	Рама основная	0,95	2I600	0,7	I4700	В	0,5	3,36	4500	6430

После расчета требований к ресурсам сборочных единиц выполняем проверку соответствия этих требований предполагаемому распределению ресурса автогрейдера в целом. Для этого находим вероятности обеспечения ресурса автогрейдера по полученным структурным формулам каждого ремонтного комплекта в интервале наработки от 2000 до I6000 ч. Все расчеты распределений ресурса сводятся в таблицы и выполняются с использованием справочных приложений 6 и 7.

Таблица 49

Распределение ресурса ремонтного комплекта I-5

$$P_{I-5}=I-(I-P_I)(I-P_2)(I-P_5)$$

Т. ч	$T_{I,2}$=8000 ч; ϑ_{I2}=0,2(H)			T_5=8000 ч; ϑ_5=0,25(H)			P_{I-5}
	$\frac{1}{\vartheta_{1,2}}\left(1-\frac{T}{T_{12}}\right)$	$P_{I,2}$	$I-P_{I,2}$	$\left(1-\frac{T}{T_5}\right)\frac{1}{\vartheta}$	P_5	$I-P_5$	
2000	3,75	0,999	0,00I	3,00	0,999	0,00I	I,000
4000	2,50	0,994	0,006	2,00	0,977	0,023	I,000
6000	I,25	0,894	0,I06	I,00	0,84I	0,I59	0,983
8000	0,00	0,500	0,50	0,00	0,500	0,500	0,750
I0000	-I,25	0,I06	0,894	-I,00	0,I59	0,84I	0,248
I2000	-2,5	0,006	0,994	-2,00	0,023	0,977	0,029
I4000	-3,75	0,00I	0,999	-3,00	0,00I	0,999	0,002
I6000	-5	0,000	I,000	-4,00	0,000	I,000	0,000

Таблица 50

Распределение ресурса ремонтного комплекта 3-9

$$P_{3-9}=I-(I-P_3)(I-P_4)(I-P_8)(I-P_9)$$

Т. ч	T_3=800 ν=0,2(Н)			T_4=I6000ч; ν=0,4; β=2,64; $K_в$ = 0,8		
	$\frac{I}{\nu_3}(I-\frac{T}{T_3})$	P_3	I-P_3	$K_в\frac{T}{T_4}$	P_4	I - P_4
2000	3,75	0,999	0,00I	0,II0	0,997	0,003
4000	2,50	0,994	0,006	0,220	0,982	0,0I8
6000	I,25	0,894	0,I06	0,330	0,948	0,052
8000	0,00	0,500	0,500	0,440	0,892	0,I08
I0000	-I,25	0,I06	0,894	0,550	0,8I4	0,I86
I2000	-2,50	0,006	0,996	0,660	0,7I6	0,284
I4000	-3,75	0,00I	0,999	0,770	0,606	0,394
I6000	-5,00	0,000	I,000	0,880	0,490	0,5I0

Таблица 50 (продолжение)

Т. ч	T_8=I6000; ν=0,45; β=2,2; $K_в$=0,88			T_9=I6000 ч; ν=0,35; β = 3,I; $K_в$ = 0,9			P_{3-9}
	$K_в\frac{T}{T_8}$	P_8	I-P_8	$K_в\frac{T}{T_9}$	P_9	I-P_9	
2000	0,II	0,992	0,008	0,II3	0,999	0,00I	I,000
4000	0,22	0,965	0,035	0,225	0,990	0,0I0	I,000
6000	0,33	0,9I6	0,084	0,334	0,967	0,033	I,000
8000	0,44	0,849	0,I5I	0,450	0,9I9	0,08I	0,999
I0000	0,55	0,765	0,235	0,563	0,845	0,I55	0,944
I2000	0,66	0,670	0,330	0,675	0,745	0,255	0,976
I4000	0,77	0,570	0,430	0,788	0,620	0,380	0,936
I6000	0,88	0,470	0,530	0,900	0,486	0,5I4	0,86I

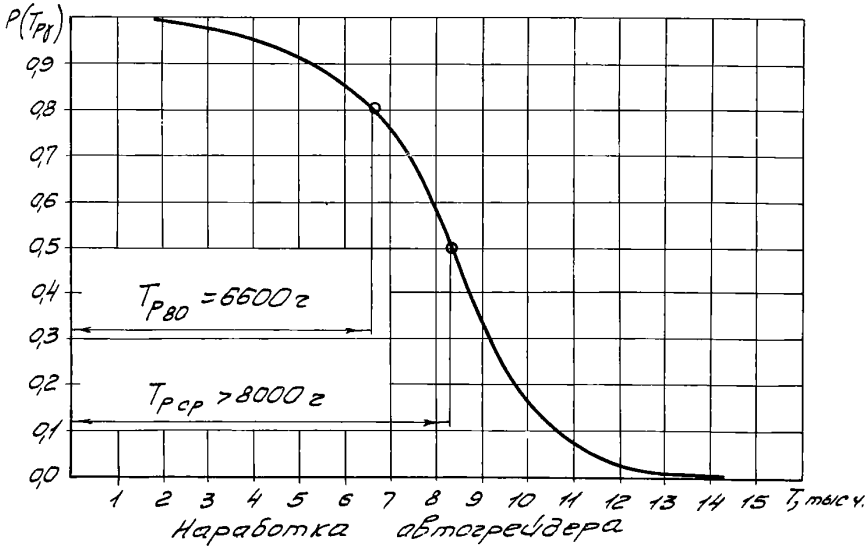
Таблица 5I

Распределение ресурса автогрейдера

$$P(T_{p\gamma}) = P_{I-5}P_{3-9}P_{IO}P_{II}$$

T,ч	P_{I-5} P_{3-9}	T_{IO}=I7360ч; ν=0,4; δ=2,64; K_b=0,88		T_{II}=2I600ч; ν=0,5; δ=2,I; K_b=0,88		$P(T_{p\gamma})$
		$K_\delta \frac{T}{T_{IO}}$	P_{IO}	$K_\delta \frac{T}{T_{II}}$	P_{II}	
2000	I,000	0,II5	0,997	0,093	0,993	0,990
4000	I,000	0,230	0,980	0,I85	0,972	0,953
6000	0,983	0,345	0,942	0,278	0,934	0,865
8000	0,749	0,460	0,879	0,370	0,883	0,58I
I0000	0,247	0,575	0,793	0,463	0,820	0,I6I
I2000	0,028	0,690	0,687	0,556	0,747	0,0I4
I4000	0,002	0,805	0,569	0,648	0,669	0,00I
I6000	0,000	0,920	0,448	0,74I	0,587	0,000

Кривая распределения ресурса автогрейдера показана на черт. 5.3.



Черт. 5.3.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
Справочное

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЙБУЛЛА

При расчете требований к показателям надежности изделий вводятся значения среднего ресурса ($T_{рср}$) и коэффициента вариации (ϑ). Тогда коэффициенты распределения Вейбулла (β, K_β, C_β), можно определить по кривым на черт. 6.1.

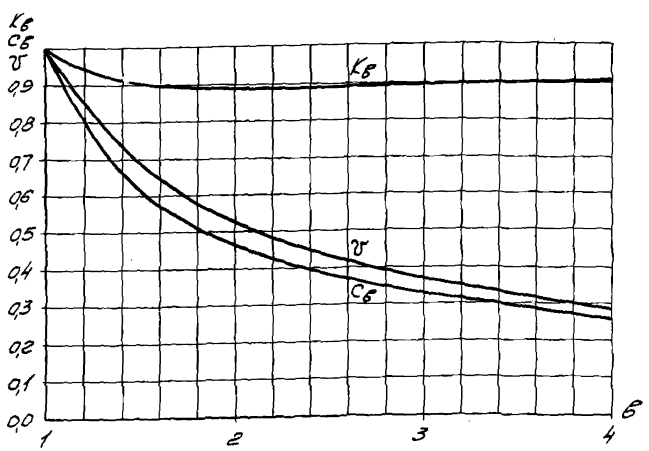
Ординаты кривой убыли определяются по формуле

$$P(T_{р\beta}) = \exp\left[-\left(\frac{T}{T_{рср}} K_\beta\right)^\beta\right] , \qquad (6.1)$$

а среднее квадратическое отклонение величины T по формуле

$$\sigma(T) = T_{рср} \frac{C_\beta}{K_\beta} \qquad (6.2)$$

Коэффициенты распределения Вейбулла



Черт. 6.1.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Справочное

Т А Б Л И Ц А

интегралов вероятностей Ф(х) нормального распределения случайных величин

Функция нормального распределения определяется по формуле

$$\Phi(t)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{t} e^{-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\sigma^2}dt},$$

где $\bar{t},\sigma^2$ – математическое ожидание и дисперсия нормального распределения случайной величины.

Для нормированного распределения вводится переменная

$$x=\frac{t-\bar{t}}{\sigma}$$

после чего функция этого распределения будет определяться по формуле

$$\Phi(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{x^2}{2}}dx$$

Кривая убыли в единицах нормированного распределения определяется по формуле

$$P(x) = I - \Phi(x)$$

Таблица 52

Таблица интегралов вероятностей $\Phi(x)$ нормального распределения случайных величин

x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)
I	2	3	4	5	6	7	8
-4,00	0,00003	-3,05	0,00II4	-2,64	0,004I4	-2,26	0,0II9I
-3,95	0,00004	-3,00	0,00I35	-2,62	0,00440	-2,24	0,0I255
-3,90	0,00005	-2,98	0,00I44	-2,60	0,00466	-2,22	0,0I32I
-3,85	0,00006	-2,96	0,00I54	-2,58	0,00494	-2,20	0,0I390
-3,80	0,00007	-2,94	0,00I64	-2,56	0,00523	-2,I8	0,0I463
-3,75	0,00009	-2,92	0,00I75	-2,54	0,00554	-2,I6	0,0I539
-3,70	0,000II	-2,90	0,00I87	-2,52	0,00587	-2,I4	0,0I6I8
-3,65	0,000I3	-2,88	0,00I99	-2,50	0,0062I	-2,I2	0,0I700
-3,60	0,000I5	-2,86	0,002I2	-2,48	0,00657	-2,I0	0,0I786
-3,55	0,000I9	-2,84	0,00226	-2,46	0,00695	-2,08	0,0I876
-3,50	0,00023	-2,82	0,00240	-2,44	0,00734	-2,06	0,0I970
-3,45	0,00028	-2,80	0,00256	-2,42	0,00776	-2,04	0,02067
-3,40	0,00034	-2,78	0,00272	-2,40	0,00820	-2,02	0,02I69
-3,35	0,00040	-2,76	0,00289	-2,38	0,00866	-2,00	0,02275
-3,30	0,00048	-2,74	0,00307	-2,36	0,009I4	-I,98	0,02385
-3,25	0,00058	-2,72	0,00326	-2,34	0,00964	-I,96	0,02500
-3,20	0,00069	-2,70	0,00347	-2,32	0,0I0I7	-I,94	0,026I9
-3,I5	0,00082	-2,68	0,00368	-2,30	0,0I072	-I,92	0,02743
-3,I0	0,00097	-2,66	0,0039I	-2,28	0,0II30	-I,90	0,02872

Продолжение табл. 52

1	2	3	4	5	6	7	8
-1,88	0,03005	-1,42	0,07780	-0,98	0,16354	-0,75	0,22663
-1,86	0,03144	-1,40	0,08076	-0,97	0,16602	-0,74	0,22965
-1,84	0,03288	-1,38	0,08379	-0,96	0,16853	-0,73	0,23269
-1,82	0,03438	-1,36	0,08691	-0,95	0,17106	-0,72	0,23576
-1,80	0,03593	-1,34	0,09012	-0,94	0,17361	-0,71	0,23885
-1,78	0,03754	-1,32	0,09342	-0,93	0,17619	-0,70	0,24196
-1,76	0,03920	-1,30	0,09680	-0,92	0,17879	-0,69	0,24510
-1,74	0,04093	-1,28	0,10027	-0,91	0,18141	-0,68	0,24825
-1,72	0,04272	-1,26	0,10383	-0,90	0,18406	-0,67	0,25143
-1,70	0,04467	-1,24	0,10749	-0,89	0,18673	-0,66	0,25463
-1,68	0,04648	-1,22	0,11123	-0,88	0,18943	-0,65	0,25785
-1,66	0,04846	-1,20	0,11503	-0,87	0,19215	-0,64	0,26109
-1,64	0,05050	-1,18	0,11900	-0,86	0,19489	-0,63	0,26435
-1,62	0,05262	-1,16	0,12302	-0,85	0,19766	-0,62	0,26763
-1,60	0,05480	-1,14	0,12714	-0,84	0,20045	-0,61	0,27093
-1,58	0,05705	-1,12	0,13136	-0,83	0,20327	-0,60	0,27425
-1,56	0,05938	-1,10	0,13567	-0,82	0,20611	-0,59	0,27759
-1,54	0,06178	-1,08	0,14007	-0,81	0,20897	-0,58	0,28096
-1,52	0,06426	-1,06	0,14457	-0,80	0,21185	-0,57	0,28434
-1,50	0,06681	-1,04	0,14917	-0,79	0,21476	-0,56	0,28774
-1,48	0,06944	-1,02	0,15386	-0,78	0,21769	-0,55	0,29116
-1,46	0,07214	-1,00	0,15865	-0,77	0,22065	-0,54	0,29460
-1,44	0,07493	-0,99	0,16109	-0,76	0,22363	-0,53	0,29806

Продолжение табл. 52

1	2	3	4	5	6	7	8
-0,52	0,30153	-0,29	0,3859I	-0,06	0,47608	+0,I7	0,56749
-0,5I	0,30503	-0,28	0,38974	-0,05	0,48006	+0,I8	0,57I42
-0,50	0,30854	-0,27	0,39358	-0,04	0,48405	+0,I9	0,57534
-0,49	0,3I207	-0,26	0,39743	-0,03	0,48803	+0,20	0,57926
-0,48	0,3I56I	-0,25	0,40I29	-0,02	0,49202	+0,2I	0,583I7
-0,47	0,3I9I8	-0,24	0,405I6	-0,0I	0,4960I	+0,22	0,58706
-0,46	0,32276	-0,23	0,40905	+0,00	0,50000	+0,23	0,59096
-0,45	0,32635	-0,22	0,4I294	+0,0I	0,50399	+0,24	0,59483
-0,44	0,32997	-0,2I	0,4I683	+0,02	0,50798	+0,25	0,5987I
-0,43	0,33360	-0,20	0,42074	+0,03	0,5II97	+0,26	0,60257
-0,42	0,33724	-0,I9	0,42465	+0,04	0,5I595	+0,27	0,60642
-0,4I	0,34090	-0,I8	0,42858	+0,05	0,5I994	+0,28	0,6I026
-0,40	0,34458	-0,I7	0,43250	+0,06	0,52392	+0,29	0,6I409
-0,39	0,34827	-0,I6	0,43644	+0,07	0,52790	+0,30	0,6I79I
-0,38	0,35I97	-0,I5	0,44038	+0,08	0,53I88	+0,3I	0,62I72
-0,37	0,35569	-0,I4	0,44433	+0,09	0,53586	+0,32	0,62552
-0,36	0,35942	-0,I3	0,44828	+0,I0	0,53983	+0,33	0,62930
-0,35	0,336I7	-0,I2	0,45224	+0,II	0,54379	+0,34	0,63307
-0,34	0,36693	-0,II	0,45620	+0,I2	0,54776	+0,35	0,63683
-0,33	0,37070	-0,I0	0,460I7	+0,I3	0,55I72	+0,36	0,64058
-0,32	0,37448	-0,09	0,464I4	+0,I4	0,55567	+0,37	0,6443I
-0,3I	0,37828	-0,08	0,468I2	+0,I5	0,55962	+0,38	0,64803
-0,30	0,38209	-0,07	0,472I0	+0,I6	0,56356	+0,39	0,65I73

Продолжение табл. 52

1	2	3	4	5	6	7	8
+0,40	0,65542	+0,63	0,73565	+0,86	0,805I0	+I,I8	0,88I00
+0,4I	0,659I0	+0,64	0,7389I	+0,87	0,80785	+I,20	0,88493
+0,42	0,66276	+0,65	0,742I5	+0,88	0,8I057	+I,22	0,88877
+0,43	0,66640	+0,66	0,74537	+0,89	0,8I327	+I,24	0,8925I
+0,44	0,67003	+0,67	0,74857	+0,90	0,8I594	+I,26	0,896I6
+0,45	0,67364	+0,68	0,75I75	+0,9I	0,8I859	+I,28	0,89973
+0,46	0,67724	+0,69	0,75490	+0,92	0,82I2I	+I,30	0,90320
+0,47	0,68082	+0,70	0,75804	+0,93	0,8238I	+I,32	0,90658
+0,48	0,68439	+0,7I	0,76II5	+0,94	0,82639	+I,34	0,90988
+0,49	0,68793	+0,72	0,76424	+0,95	0,82894	+I,36	0,9I308
+0,50	0,69I46	+0,73	0,76730	+0,96	0,83I47	+I,38	0,9I62I
+0,5I	0,69497	+0,74	0,77035	+0,97	0,83398	+I,40	0,9I924
+0,52	0,69847	+0,75	0,77337	+0,98	0,83646	+I,42	0,92220
+0,53	0,70I94	+0,76	0,77637	+0,99	0,8389I	+I,44	0,92507
+0,54	0,70540	+0,77	0,77935	+I,00	0,84I34	+I,46	0,92785
+0,55	0,70884	+0,78	0,78230	+I,02	0,846I4	+I,48	0,93057
+0,56	0,7I226	+0,79	0,78524	+I,04	0,85083	+I,50	0,933I9
+0,57	0,7I566	+0,80	0,788I4	+I,06	0,85543	+I,52	0,93574
+0,58	0,7I904	+0,8I	0,79I03	+I,08	0,85993	+I,54	0,93822
+0,59	0,72240	+0,82	0,79389	+I,I0	0,86433	+I,56	0,94062
+0,60	0,72575	+0,83	0,79673	+I,I2	0,86864	+I,58	0,94295
+0,6I	0,72907	+0,84	0,79955	+I,I4	0,87286	+I,60	0,94520
+0,62	0,73237	+0,85	0,80234	+I,I6	0,87698	+I,62	0,94738

Продолжение табл. 52

1	2	3	4	5	6	7	8
+1,64	0,94950	+2,10	0,98214	+2,56	0,99477	+3,05	0,99886
+1,66	0,95154	+2;12	0,98300	+2,58	0,99507	+3,10	0,99903
+1,68	0,95352	+2,14	0,98382	+2,60	0,99534	+3,15	0,99918
+1,70	0,95543	+2,16	0,98461	+2,62	0,99560	+3,20	0,99931
+1,72	0,95728	+2,18	0,98537	+2,64	0,99585	+3,25	0,99942
+1,74	0,95907	+2,20	0,98610	+2,66	0,99609	+3,30	0,99952
+1,76	0,96080	+2,22	0,98679	+2,68	0,99632	+3,35	0,99960
+1,78	0,96246	+2,24	0,98745	+2,70	0,99653	+3,40	0,99966
+1,80	0,96407	+2,26	0,98809	+2,72	0,99674	+3,45	0,99972
+1,82	0,96562	+2,28	0,98870	+2,74	0,99693	+3,50	0,99977
+1,84	0,96712	+2,30	0,98928	+2,76	0,99711	+3,55	0,99981
+1,86	0,96856	+2,32	0,98983	+2,78	0,99728	+3,60	0,99984
+1,88	0,96995	+2,34	0,99036	+2,80	0,99744	+3,65	0,99987
+1,90	0,97128	+2,36	0,99086	+2,82	0,99760	+3,70	0,99989
+1,92	0,97257	+2,38	0,99134	+2,84	0,99774	+3,75	0,99991
+1,94	0,97381	+2,40	0,99180	+2,86	0,99788	+3,80	0,99993
+1,96	0,97500	+2,42	0,99224	+2,88	0,99801	+3,85	0,99994
+1,98	0,97615	+2,44	0,99266	+2,90	0,99813	+3,90	0,99995
+2,00	0,97725	+2,46	0,99305	+2,92	0,99825	+3,95	0,99996
+2,02	0,97831	+2,48	0,99343	+2,94	0,99836	+4,00	0,99997
+2,04	0,97932	+2,50	0,99379	+2,96	0,99846		
+2,06	0,98030	+2,52	0,99413	+2,98	0,99856		
+2,08	0,98124	+2,54	0,99446	+3,00	0,99865		

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Справочное

Признаки распознавания структурных схем надежности сложных конструкций сборочных единиц

Рассмотренные в разд.6 настоящего РД три признака первичных квадратных матриц положений отражают основные виды структурных схем, из комбинаций которых составляются еще более сложные конфигурации структурных схем надежности различных сборочных единиц.

В данном приложении представлены признаки распознавания сложных структурных схем и правила расчленения первичных матриц положений на матрицы положений второго, третьего и более младшего порядка. Здесь номера признаков распознавания дополняют те, которые представлены в разд.6 настоящего РД.

Признак 4. Если первичная матрица не имеет трех первых признаков, а её внешние характеристики находятся в интервалах

$$\begin{gathered} 1 \leq x_j^{(1)} \leq N_1 \\ 1 \leq y_j^{(1)} \leq N_1 \\ N_1 < M_1 \end{gathered} \qquad (8.I)$$

то такая матрица представляет сложную структурную схему надежности сборочной единицы.

Признак 5. Если первичная матрица обладает признаком 4 и среди членов ряда $x_j^{(1)}$ и ряда $y_j^{(1)}$ есть такие, которые удовлетворяют условию (черт. 8.I-а)

$$\left.\begin{array}{l} x_1^{(1)} = x_2^{(1)} = \ldots = x_{\ell_1}^{(1)} = N_1 \\ y_1^{(1)} = y_2^{(1)} = \ldots = y_{\ell_1}^{(1)} = \ell_1 \\ \sum\limits_{j=\ell_1+1}^{N_1} \{a_j\} \equiv N_1 \end{array}\right\} \quad j = 1,2 \ldots N_1 \quad , \qquad (8.2)$$

то элементы с номерами a_I, a_2, ..., $a_{\ell\,I}$ являются базовыми и в структурной схеме соединены последовательно между собой. Зная информацию о числе базовых элементов, можно записать структурную формулу в виде

$$P(T_{p\gamma}) = \left(\prod_{j=1}^{\ell_1} P_j\right) P_{(\ell_1+1)} - N_1 \quad .$$

Оставшаяся группа элементов выделяется во вторичную матрицу, внешние характеристики которой определяются по следующим правилам:

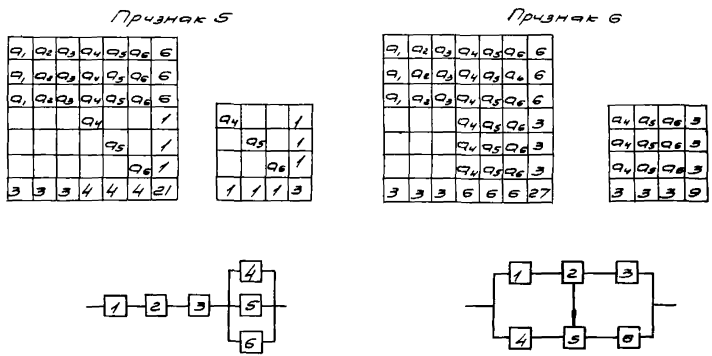
$$\left.\begin{array}{l} N_2 = N_1 - \ell_1 \\ x_j^{(2)} = x_j^{(1)} \\ y_j^{(2)} = y_j^{(1)} - \ell_1 \\ M_2 = M_1 - N_1 \ell_1 \end{array}\right\} \quad j = (\ell_1+1),(\ell_1+2),\ldots,N_1 \qquad (8.3)$$

Если вторичная матрица обладает одним из трех первых признаков, то структурная схема полностью определена. В нашем случае вторичная матрица обладает признаком 2. Поэтому можем записать

$$P(T_{p\gamma}) = \prod_{j=1}^{\ell_1} P_j \left[1 - \prod_{j=\ell_1+1}^{N_1} (1 - P_j)\right]$$

Виды первичных матриц и структурных схем

по признакам 5 и 6



Черт. 8.I.

Признак 6. Если первичная матрица обладает некоторыми чертами признака 5, но среди членов ряда $x_j^{(1)}$ и ряда $y_j^{(1)}$ есть такие, которые удовлетворяют условию (см. черт. 8.1-б)

$$\left.\begin{array}{l} x_1^{(1)} = x_2^{(1)} = \ldots = x_{\ell_1}^{(1)} = N_1 \\ y_1^{(1)} = y_2^{(1)} = \ldots = y_{\ell_1}^{(1)} = \ell_1 \\ x_{\ell_1+1}^{(1)} = x_{\ell_1+2}^{(1)} = \ldots = x_{S_1}^{(1)} = S_1 \\ y_{\ell_1+1}^{(1)} = y_{\ell_1+2}^{(1)} = \ldots = y_{S_1}^{(1)} = N_1 \\ \{a_{\ell_1+1} \cup a_{\ell_1+2} \cup \ldots \cup a_{S_1}\} = S_1 \end{array}\right\} \quad \ell_1 + S_1 = N_1 , \qquad (8.4)$$

то элементы с номерами a_1, a_2, ..., a_{ℓ_1} соединены между собой последовательно и у них под общей стрелкой расположены, соединенные между собой последовательно, элементы с номерами a_{ℓ_1+1}, a_{ℓ_1+2}, ... a_{N_1}.

В нашем примере имеем

$$P(T_{pg}) = \prod_{j=1}^{\ell_1} p_j$$

При этом характеристики вторичной матрицы (для элементов, находящихся под стрелкой в структурной схеме) будут определяться по следующим правилам:

$$\left.\begin{array}{l} N_2 = N_1 - \ell_1 \\ x_j^{(2)} = x_j^{(1)} \\ y_j^{(2)} = y_j^{(1)} - \ell_1 \\ M_2 = M_1 - N_1 (S_1 + \ell_1) + S_1 \ell_1 \end{array}\right\} \quad j = (\ell_1+1), (\ell_1+2), \ldots, N_1 . \qquad (8.5)$$

Легко убедиться, что вторичная матрица для элементов под стрелкой в нашем примере обладает признаком 1.

Характеристики вторичной матрицы для базовых элементов определяются по правилам:

$$\left.\begin{aligned} N_2 &= N_1 - S_1 \\ x_j^{(2)} &= x_j^{(1)} - S_1 \\ y_j^{(2)} &= y_j^{(1)} \\ M_2 &= M_1 - N_1(S_1+\ell_1) + S_1\ell_1 \end{aligned}\right\} \; j = 1,2,\ldots,\ell_1 \qquad (8.6)$$

Поскольку по признаку 6 $\ell_1 + S_1 = N_1$, то данная вторичная матрица также обладает признаком I.

Признак 7. Если первичная матрица обладает признаком 6, но при

$$\ell_1 + S_1 < N_1 \; ; \; \sum_{j=\ell_1+1}^{N_1-(\ell+S_1)} \{a_j\} \equiv N_1 \; ,$$

то характеристики вторичной матрицы без ℓ_1 базовых элементов и без S_1 элементов под стрелкой (соединенных последовательно), определяются по правилам:

$$\left.\begin{aligned} N_2 &= N_1 - (\ell_1 + S_1) \\ x_j^{(2)} &= x_j^{(1)} - S_1 \\ y_j^{(2)} &= y_j^{(1)} - \ell_1 \\ M_2 &= M_1 - N_1(\ell_1+S_1) + S_1\ell_1 \end{aligned}\right\} \; \ell_1 + S_1 < N_1 \qquad (8.7)$$

В нашем примере (черт. 8.2-а)

$$\left.\begin{aligned} x_1^{(1)} &= x_2^{(1)} = 6 \\ y_1^{(1)} &= y_2^{(1)} = 2 \\ x_6^{(1)} &= 1 \\ y_6^{(1)} &= 6 \end{aligned}\right\} \qquad \begin{aligned} S_1 &= x_6^{(1)} = 1 \\ \ell_1 &= y_1^{(1)} = y_2^{(1)} = 2 \\ S_1 + \ell_1 &= 3 < 6 \end{aligned}$$

Выделенная вторичная матрица подлежит проверке по признакам 2 и 4. В нашем примере вторичная матрица удовлетворяет признаку 2. Поэтому можно построить структурную схему узла, которая показана на черт. 8.2-а, при этом структурная формула надежности будет иметь вид

$$P(T_{P\gamma}) = \prod_{j=1}^{2} P_1 \left[1 - \prod_{j=3}^{5} (1 - P_j)\right]$$

Признак 8. Если первичная матрица обладает признаком 4 и среди членов ряда $x_j^{(1)}$ и ряда $y_j^{(1)}$ есть такие, которые удовлетворяют условию (см. черт. 8.2-б)

$$\left.\begin{array}{l} x_{K_1+1}^{(1)} = x_{K_1+2}^{(1)} = \ldots = x_{\ell_1}^{(1)} = 1 \\ \sum\limits_{j=K_1+1}^{\ell_1} 1 \cdot a_j = P_1 \\ y_{K_1+1}^{(1)} = y_{K_1+2}^{(1)} = \ldots = y_{\ell_1}^{(1)} = S_1 \end{array}\right\} \; S_1 < N_1 \qquad (8.8)$$

и после преобразования

$$\left.\begin{array}{l} x_1^{(2)} = x_1^{(1)} - P_1 \\ x_2^{(2)} = x_1^{(1)} - P_1 \\ \ldots\ldots\ldots \\ x_j^{(2)} = x_j^{(1)} - P_1 \\ y_1^{(2)} = y_1^{(1)} \\ y_2^{(2)} = y_2^{(1)} \\ y_j^{(2)} = y_j^{(1)} \end{array}\right\} \; j = 1, 2, \ldots K_1 . \qquad (8.9)$$

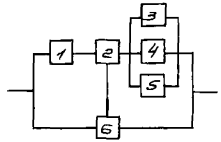
а вторичная матрица приобретает один из признаков 1, 2, 3 или 5, то структурная схема имеет под стрелкой группу элементов, объединенных по признаку 2.

Виды первичных матриц и структурных схем по признакам 7 и 8

Признак 7

a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	6
a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	6
		a_3			a_6	2
			a_4		a_6	2
				a_5	a_6	2
					a_6	1
2	2	3	3	3	6	19

a_3			1
	a_4		1
		a_5	1
1	1	1	3

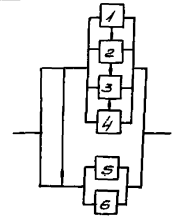


а)

Признак 8

a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	6
	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	5
		a_3	a_4	a_5	a_6	4
			a_4	a_5	a_6	3
				a_5		1
					a_6	1
1	2	3	4	5	5	20

a_1	a_2	a_3	a_4	4
	a_2	a_3	a_4	3
		a_3	a_4	2
			a_4	1
1	2	3	4	10



б)

Черт. 8.2

Для нашего примера

$$P(T_{pg}) = P_I$$

Признак 9. Если первичная матрица обладает признаком 4 и среди членов ряда $x_j^{(1)}$ и ряда $y_j^{(1)}$ есть такие, которые удовлетворяют условию (черт. 8.3-а)

$$\left.\begin{array}{ll} x_{k_1+1}^{(1)} = \ell_1 & y_{k_1+1}^{(1)} = S_1 \\ x_{k_1+2}^{(1)} = \ell_1 - 1 & y_{k_1+2}^{(1)} = S_1 + 1 \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots \\ x_{n_1-1}^{(1)} = 2 & y_{n_1-2}^{(1)} = N_1 - 1 \\ x_{n_1}^{(1)} = 1 & y_{n_1}^{(1)} = N_1 \end{array}\right\}, \qquad (8.10)$$

то структурная схема имеет под стрелкой группу элементов, объединенных по признаку 3.

Основная часть структурной схемы выделяется во вторичную матрицу, внешние характеристики которой определяются по следующим правилам

$$\left.\begin{array}{l} x_j^{(2)} = x_j^{(1)} - \ell_1 \\ y_j^{(2)} = y_j^{(1)} \end{array}\right\} j = 1,2,\ldots,k_1 \qquad (8.11)$$

По внешним характеристикам вторичной матрицы структурная схема приводится к одному из видов по признакам I,2 и 5.

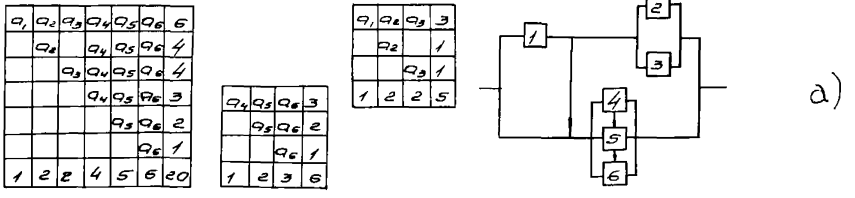
Для нашего примера вторичная матрица обладает признаком 5. Поэтому

$$P(T_{pg}) = P_1[1 - (1-P_2)(1-P_3)]$$

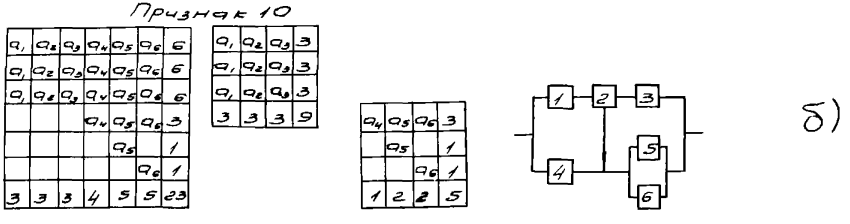
Виды первичных и вторичных матриц и структурных схем

по признакам 9 и 10

Признак 9



Признак 10



Черт. 8.3

Признак 10. Если первичная матрица обладает признаком 4 и среди членов ряда $x_j^{(1)}$ и ряда $y_j^{(1)}$ есть такие, которые удовлетворяют условию

$$\left.\begin{aligned} & x^{(1)}_{K_1+1} = x^{(1)}_{K_1+2} = \ldots = x^{(1)}_{\ell_1} = m_1 \\ & x^{(1)}_{\ell_1+1} = x^{(1)}_{\ell_1+2} = \ldots = x^{(1)}_{N_1} = 1 \\ & \sum_{j=K_1+1}^{N_1} 1 \cdot a_j = m_1 \\ & y^{(1)}_{K_1+1} = y^{(1)}_{K_1+2} = \ldots = y^{(1)}_{\ell_1} = N_1 - m_1 + 1 \\ & y^{(1)}_{\ell_1+1} = y_{\ell_1+2} = \ldots = y^{(1)}_{N_1} = N_1 - m_1 + 2 \end{aligned}\right\} \qquad (8.12)$$

то структурная схема имеет под стрелкой группу элементов, объединенных по признаку 5 (см. черт. 8.3-б).

Основная часть структурной схемы выделяется во вторичную матрицу, внешние характеристики которой определяются по правилам (8.3). В нашем случае основная структурная схема обладает признаком 1, а схема под стрелкой - признаком 6, следовательно

$$P(T_{p\gamma}) = P_I \cdot P_2 \cdot P_3$$

Признак 11. Если первичная матрица обладает признаком 4 и поле матрицы заполнено так, что можно выделить неперекрещивающиеся вторичные матрицы, каждая из которых обладает своими внешними характеристиками, то первичная структурная схема представляет собой параллельное соединение, каждая ветвь которого представлена вторичной матрицей. В нашем примере выделены три вторичные матрицы, соответственно обладающие признаками 1, 2 и 3. Поэтому можно записать (по черт. 8.4)

$$P(T_{p\gamma}) = I - (I - P_{I-2})(I - P_{3-4})(I - P_{5-6})$$

где $P_{I-2} = P_I \cdot P_2$; $P_{3-4} = I - (I - P_3)(I - P_4)$; $P_{5-6} = P_5$

Виды первичной и вторичных матриц
и структурной схемы по признаку II

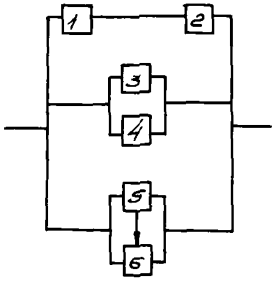
Признак 11

a_1	a_2					2
a_1	a_2					2
		a_3				1
			a_4			1
				a_5	a_6	2
					a_6	1
2	2	1	1	1	2	9

a_1	a_2	2
a_1	a_2	2
2	2	4

a_3		1
	a_4	1
1	1	2

a_5	a_6	2
	a_6	1
1	2	3



Черт. 8.4.

Структурный анализ бортового редуктора трактора Т-130МГ-1

Задача расчета. Определение требований к ресурсным показателям деталей для обеспечения девяностопроцентного ресурса бортового редуктора, равного 10000 ч.

За критерий предельного состояния бортредуктора принимается такое нарушение его работоспособности, которое не может быть восстановлено без его полной разборки.

Для решения поставленной задачи выполним структурный анализ надежности двух вариантов конструкции бортового редуктора, отличающихся расположением двойной шестерни (11-20) относительно ступицы (3-25) и ведущего фланца (14-27). Оба варианта представлены на черт. 8.5.

Здесь показаны номерами детали бортового редуктора, из которых формируются следующие подсборки:

$I_{сб}$ - кожух бортового редуктора в сборе с наружными кольцами роликоподшипников 12 и 14;

5 - шпонка;

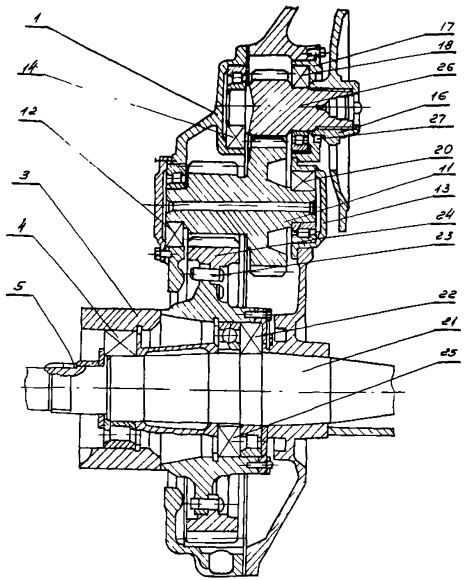
3-25 - ступица в сборе;

11-20 - двойная шестерня в сборе;

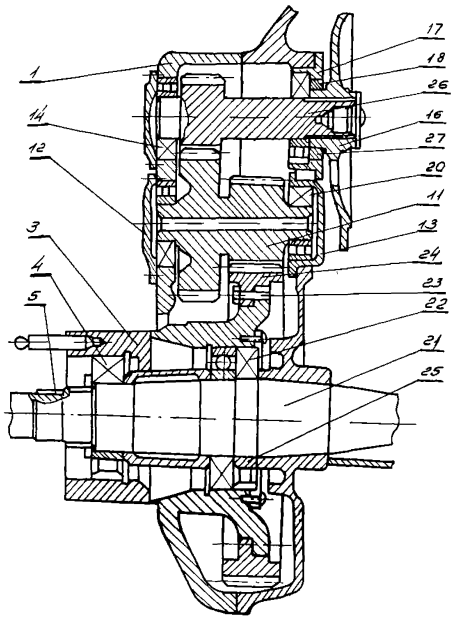
14-27 - ведущий фланец в сборе.

Для снятия приведенных выше подсборок необходимо выполнить следующие операции:

Бортовой редуктор трактора: а – старой конструкции; б – новой конструкции



а)



Черт. 8.5.

а) для старой конструкции	б) для новой конструкции
I сб;	I сб;
5 ;	5 ;
3-25 (Iсб, 5);	3-25 (Iсб,5);
II-20 (Iсб,5,3-25);	II-20(Iсб);
I4-27.	I4-27.

Первичные матрицы положений представлены на черт. 8.6, а соответствующие им структурные схемы и формулы надежности бортовых редукторов даны на черт. 8.7.

В приведенных на черт. 8.6 первичных матрицах положений даны расчетные значения оперативной продолжительности (в минутах) выполнения разборочно-сборочных работ. При этом подготовительные и заключительные операции для замены подсборок Iсб, 3-25, II-20 и шпонки 5 состоят из следующих технологических переходов:

слить масло из картера бортового редуктора, разъединить гусеницу, отсоединить и снять тележку гусениц, снять концевой подшипник, ведущее колесо, большое и малое уплотнения. Заключительные операции выполняются в обратном порядке. Продолжительность ($t_{пз}$) выполнения подготовительно-заключительных работ для замены ведущего фланца определяется по следующим демонтажно-монтажным работам (с учетом слива масла из картера бортового редуктора): снять (поставить)топливный бак,кабину,бортовой фрикцион):

$$t'_{пз} = t'_{подг} + t'_{закл} = 111{,}45 + 133{,}74 \cong 245 \text{ мин}$$

$$t''_{пз} = t''_{подг} + t''_{закл} = 185 + 222 = 407 \text{ мин}$$

В подсборках размещены следующие детали:

Подсборка - I сб

I - кожух редуктора;

I2' - наружное кольцо роликоподшипника двойной шестерни;

I4' - то же ведущего фланца.

Схема снятия деталей подсборки I сб:

I(I2', I4');

I2';

I4'.

Подсборка 3-25

3 - ступица;

4' - роликоподшипник левый (наружное кольцо);

22' - роликоподшипник правый (наружное кольцо);

23 - болты (I2 шт.);

24 - шестерня;

25 - шарикоподшипник.

Схема снятия деталей подсборки 3-25

3 (4', 22', 23, 24, 25);

4';

22'(25);

23;

24 (23);

25 (22').

Первичные матрицы положений бортового редуктора:

а - старой конструкции, б - новой конструкции

					t_{pc}	t_{on}
1сб					54,66	303
	5				1,00	246
1сб	5	3-25			66,56	312
1сб	5	3-25	11-20		70,00	315
				14-27	13,00	420

а)

Оперативная продолжительность ремонта редуктора

$$t_{on} = t_{nz} + t_{pc},$$

где t_{nz} - продолжительность подготовительно-заключительных операций, мин;

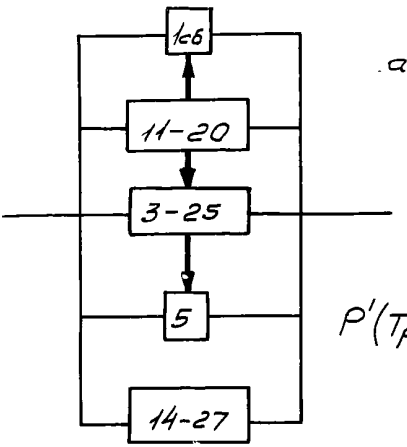
t_{pc} - продолжительность разборочно-сборочных операций, мин.

1сб					54,66	303
	5				1,00	246
1сб	5	3,25			66,56	312
1сб			11-20		42,00	287
				14-27	13,00	420

б)

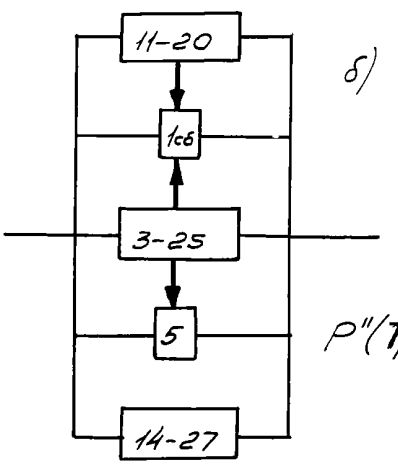
Черт. 8.6.

Структурные схемы и формулы для бортового редуктора:
а) - старой конструкции, б) - новой конструкции



а)

$$P'(T_{рд}) = 1-(1-P_{11\text{-}20})(1-P_{14\text{-}27}) \geq 0{,}9$$



б)

$$P''(T_{рд}) = 1-(1-P_{11\text{-}20})(1-P_{14\text{-}27})(1-P_{3\text{-}25}) \geq 0{,}9$$

Черт. 8.7.

Подсборка 11-20

11 - двойная шестерня;
12" - внутреннее кольцо роликоподшипника левого;
20" - то же правого.

Схема снятия деталей подсборки 11-20

11 (12", 20");
12";
20".

Подсборка 14-27

14" - внутреннее кольцо роликоподшипника левого;
16 - ведущий фланец;
17 - корпус подшипника правого;
18 - манжета;
26 - вал-шестерня;
27 - роликоподшипник.

Схема снятия деталей подсборки 14-27

14";
16;
17 (16, 18, 27);
18 (16, 17, 27);
26 (14", 16, 17, 18, 27);
27 (16, 17, 18).

Вторичные матрицы положений, структурные схемы и структурные формулы надежности подсборок показаны на черт. 8.8. Там же дано оперативное время замены каждой детали бортового редуктора в минутах.

Определение требований к вероятностям обеспечения ресурса каждого из рассматриваемых вариантов конструкции бортового редуктора выполняется по условиям:

а) для старой конструкции редуктора

$$P'(T_{p\gamma}) = I - (I - P_{II-20})(I - P_{I4-27}) \geqslant 0,9;$$

б) для новой конструкции редуктора

$$P''(T_{p\gamma}) = I-(I-P_{II-20})(I-P_{I4-27})(I-P_{3-25}) \geqslant 0,9$$

Поскольку в обоих вариантах конструкции редуктора компоновка деталей в подузлах не изменилась (при изменении компоновки редуктора в целом), то структурные формулы для этих подузлов будут одинаковыми для любого из вариантов и соответствовать черт. 8.8. Если принять для каждого подузла вероятность обеспечения ресурса равную 0,8, то можно записать условия их обеспечения:

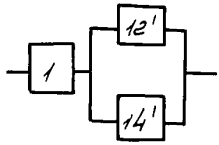
- для подсборки I сб

$$P_{Iсб} = P_I\left[I-(I-P'_{I2})(I-P'_{I4})\right] \geqslant 0,8;$$

Вторичные матрицы, структурные схемы и структурные формулы надежности подсборок бортового редуктора трактора

Подсборка 1сб $t_{рс}$ $t_{оп}$

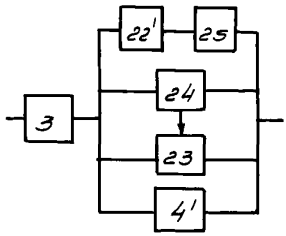
1	12′	14′	57,66	303
	12′		1,5	246,5
		14′	1,5	246,5



$$P_{1сб} = P_1\left[1-(1-P'_{12})(1-P'_{14})\right]$$

Подсборка 3-25 $t_{рс}$ $t_{оп}$

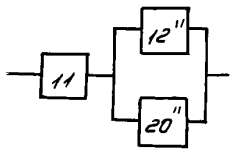
3	22′	25	24	23	4′	62,6	308
	22′	25				3,9	249
	22′	25				3,9	249
			24	23		54,0	299
				23		48,0	293
					4′	1,7	247



$$P_{3-25} = P_3\left[1-(1-P'_{22}P_{25})(1-P_{24})(1-P'_4)\right]$$

Подсборка 11-20

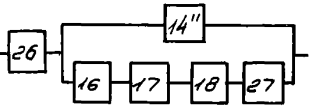
11	12″	20″	3,9	249
	12″		1,2	246
		20″	1,7	247



$$P_{11-20} = P_{11}\left[1-(1-P''_{12})(1-P''_{20})\right]$$

Подсборка 14-27 $t_{рс}$ $t_{оп}$

14″						1,5	409
	16	17	18	27		11,0	418
	16	17	18	27		11,0	418
	16	17	18	27		11,0	418
	16	17	18	27		11,0	418
14″	16	17	18	27	26	12,8	420



$$P_{14-27} = P_{26}\left[1-(1-P''_{14})(1-P_{16}P_{17}P_{18}P_{27})\right]$$

Черт. 8.8

- для подсборки 3-25

$$P_{3-25}=P_3\left[I-(I-P'_{22}P_{25})(I-P_{24})(I-P'_4)\right] \geqslant 0,8;$$

- для подсборки II-20

$$P_{II-20}=P_{II}\left[I-(I-P''_{I2})(I-P''_{20})\right] \geqslant 0,8;$$

- для подсборки I4-27

$$P_{I4-27}=P_{26}\left[I-(I-P''_{I4})(I-P_{I6}P_{I7}P_{I8}P_{27})\right] \geqslant 0,8$$

Вероятность обеспечения ресурса шпонки 5 принимаем равной $P_5 = 0,9$.

Поскольку значение оперативной продолжительности замены любой детали бортового редуктора определяется главным образом затратами на подготовительно-заключительные операции, то целесообразно, чтобы все детали имели собственный ресурс не менее I0000 часов работы.

Тогда, приняв для всех деталей требования к вероятности обеспечения наработки I0000 часов, равной 0,9, получим:

- для подсборки I сб

$$P_{Iсб} = 0,9\left[I-(I-0,9)^2\right] = 0,89 > 0,8$$

- для подсборки 3-25

$$P_{3-25} = 0,9\left[I - (I-0,9^2)(I-0,9)^2\right] = 0,88 > 0,8$$

- для подсборки II-20

$$P_{II-20} = 0,9\left[I - (I-0,9)^2\right] = 0,89 > 0,8;$$

- для подсборки I4-27

$$P_{I4-27} = 0,9\left[I-(I-0,9)(I-0,9^4)\right] = 0,87 > 0,8$$

Тогда вероятность обеспечения ресурса редуктора старой конструкции будет равна

$$P'(T_{p\gamma} = I0000) = I - (I-0,89)(I-0,87) = 0,986 > 0,9$$

$$P''(T_{p\gamma} = I0000) = I - (I-0,89)(I-0,87)(I-0,88) = 0,998 > 0,9$$

Как показывают расчеты, новый вариант конструкции имеет более высокую вероятность обеспечения ресурса редуктора. Из этих расчетов может быть сделан следующий вывод: за I0 тыс. часов работы в капитальный ремонт редукторы старой конструкции попадут в I4 случаях из I000, а редукторы новой конструкции - только в 2 случаях из I000.

Требования к ресурсам деталей бортового редуктора трактора Т-I30МГ-I сведены в табл.53.

Таблица 53

Требования к ресурсам деталей бортового редуктора

№№ п/п	Наименование детали	P_j	T_j тыс.ч	K_j	T_{pcpj} тыс.ч	Вид закона	ν_j	$K_{\gamma j}$	$T_{p\gamma j}$ тыс.ч	$T_{\gamma j}$ тыс.ч
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
I	Кожух редуктора	0,9	25	I,0	25	В	0,5	2,5	I0	I0
I2	Роликоподшипник	0,9	40	I,0	40	В	0,7	4,0	I0	I0
I4	То же	0,9	40	I,0	40	В	0,7	4,0	I0	I0
3	Ступица	0,9	25	I,0	25	В	0,5	2,5	I0	I0
4	Роликоподшипник	0,9	40	I,0	40	В	0,7	4,0	I0	I0
5	Шпонка	0,9	20	I,0	20	В	0,4	2,0	I0	I0
22	Роликоподшипник	0,9	40	I,0	40	В	0,7	4,0	I0	I0
23	Болты (I2 шт.)	0;9	25	I,0	25	В	0,5	2,5	I0	I0
24	Шестерня	0,9	20	I,0	20	В	0,4	2,0	I0	I0
25	Шарикоподшипник	0,9	40	I,0	40	В	0,7	4,0	I0	I0
II	Двойная шестерня	0,9	20	I,0	20	В	0,4	2,0	I0	I0
20	Роликоподшипник	0,9	40	I,0	40	В	0,7	4,0	I0	I0
I6	Ведущий фланец	0,9	25	I,0	25	В	0,5	2,5	I0	I0
I7	Корпус подшипн.	0,9	25	I,0	25	В	0,5	2,5	I0	I0
I8	Манжета	0,9	I3,5	I,0	I3,5	Н	0,2	I,35	I0	I0
26	Вал-шестерня	0,9	20	I,0	20	В	0,4	2,0	I0	I0
27	Роликоподшипник	0,9	40	I,0	40	В	0,7	4,0	I0	I0

Если данные табл.53 будут выполнены, то наработка на отказ редуктора будет равна:

$$T_o = \frac{I}{\frac{7}{40} + \frac{5}{25} + \frac{4}{20} + \frac{I}{I3,5}} = I,54 \text{ тыс.ч}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Справочное

Показатели ремонтопригодности промышленных тракторов

Таблица 54

Максимальные значения основных показателей ремонтопригодности

Тракторы, двигатели	Удельная суммарная оперативная трудоемкость Т.О. чел-ч/моточ.	Удельная суммарная оперативная трудоемкость диагностирования чел-ч/моточ.	Удельная суммарная оперативная трудоемкость устранения последствий отказа за половину среднего ресурса	Удельная суммарная оперативная трудоемкость устранения последствий отказа за средний ресурс
Т-130 (Т-160, Т-10)	0,072	0,026	0,023	0,025
Дв-ль Д-160	0,036	0,013	0,008	0,009
Т-200	0,074	0,022	0,026	0,028
ДЭТ-250М	0,080	0,020	0,026	0,030
Дв-ль В-31	0,029	0,011	0,013	0,015
Т-330	0,11	0,036	0,082	0,084
Дв-ль 8ДВТ-330	0,054	0,020	0,039	0,048
Т-500	0,08	0,024	0,050	0,055
Дв-ль А-90ТК	0,036	0,018	0,031	0,035

Таблица 55

Максимальные дополнительные показатели ремонтопригодности

Показатели ремонтопригодности	Модификация		
	Т-130 МГ-1	Т-130 МГ3	Т-130 МБГ-1
1. Удельная стоимость запасных частей за нормативный срок службы и стоимости трактора в %	76,5	74,6	79,9
2. Удельная материалоемкость запасных частей за нормативный срок службы к конструктивному весу изделия в %	108,1	102,3	97,2

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

I. Общие положения. 2

2. Порядок выполнения расчетов надежности. 6

3. Этап технического задания - Расчет требований к показателям долговечности. 7

4.Этап технического задания - Расчет требований к показателям безотказности. 36

5. Этап технического задания - Расчет требований к показателям ремонтопригодности и комплексным показателям надежности. 4I

6. Этап технического проекта - Расчет требований к показателям долговечности составных частей ремонтируемых изделий. 42

7.Этап технического проекта - Расчет требований к показателям долговечности составных частей машин, входящих в комплекс. 54

8. Этап технического проекта - Расчет требований к показателям безотказности сборочных единиц изделий ремонтируемого класса и комплекса изделий. . . 55

9. Этап технического проекта - Расчет требований к показателям ремонтопригодности. 57

I0. Этап технического проекта - Расчет требований к комплексным показателям надежности. 62

Приложения:

I. Максимальные коэффициенты использования машин по времени. 66

2. Расчетные сроки службы основных машин и оборудования. 67

3. Справочные таблицы времени выполнения слесарных работ при ремонте машин. 73

4. Расчетные значения коэффициентов, учитывающих рабочую позу оператора. I08

5. Схема расчета требований к ресурсным показателям сборочных единиц машины (стадия разработки технического задания). II9

6. К определению характеристик распределения Вейбулла. I30

Стр.

7. Таблица интегралов вероятностей Ф(х) нормального распределения случайных величин. . . . I3I

8. Признаки распознавания структурных схем надежности сложных конструкций сборочных единиц. I37

9. Показатели ремонтопригодности промышленных тракторов. I60

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

У Т В Е Р Ж Д Е Н :

Генеральным директором НПО „ВНИИстройдормаш" - КУЗИНЫМ Э.Н.

И С П О Л Н И Т Е Л И :

ВНИИСтройдормаш - Хазов Б.Ф.

ПО "ЧТЗ им. В.И. Ленина" - Дындиков К.Е., Успенский В.И.

С О Г Л А С О В А Н :

Челябинский филиал НАТИ

Зам. директора по научной работе - Филимонов В.В.

В З А М Е Н : РД 22-6I-8I; РД 22-94-82.

ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

Обозначение НТД, на который дана ссылка	Номер пункта, подпункта перечисления, приложения
ГОСТ 27.202-83	п. 3.8.I

gost.e-ecolog.ru