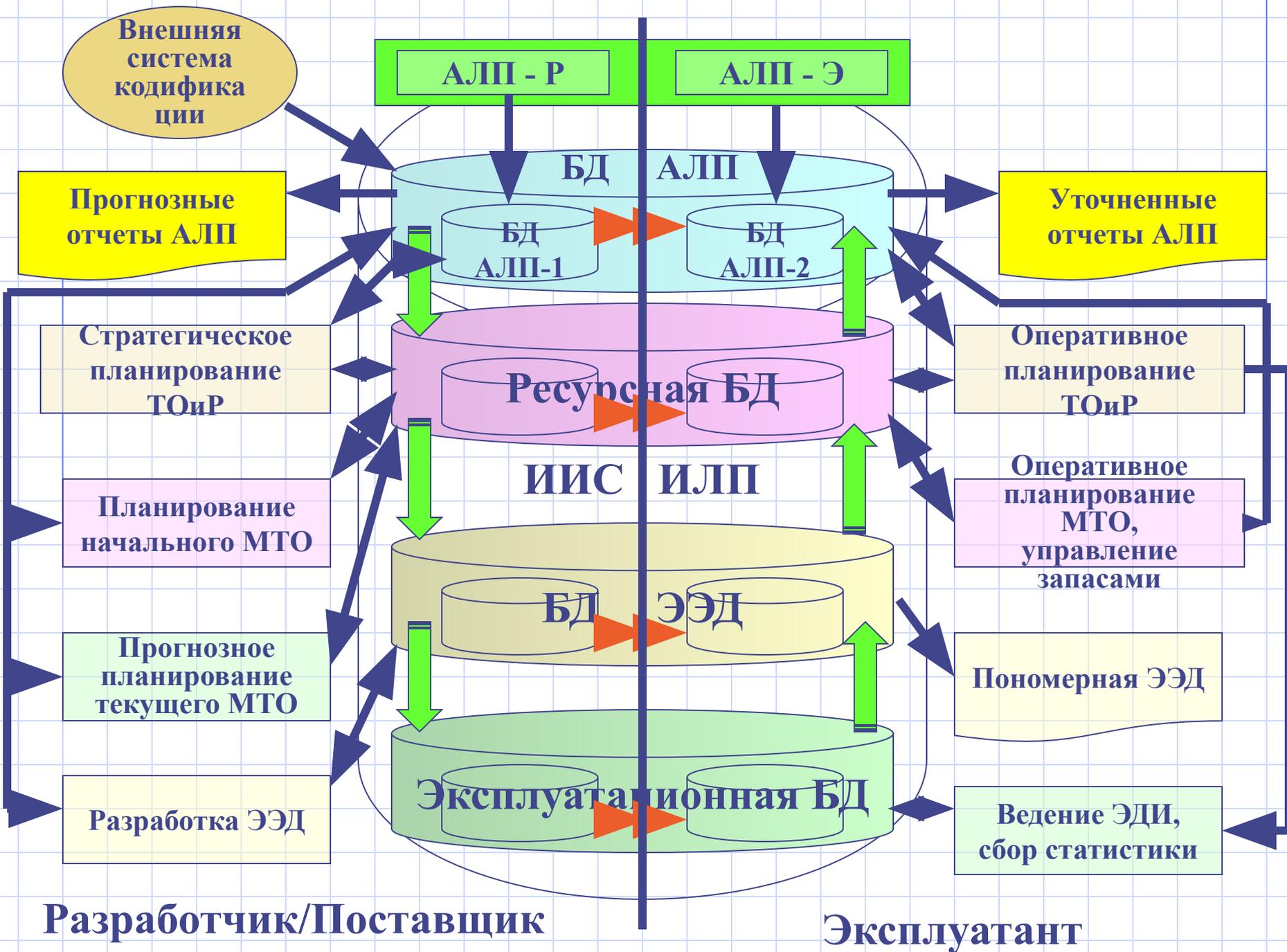


Расчетные задачи анализа логистической поддержки сложных технических изделий

**А.И. Левин, Е.В. Судов, А.В. Петров, Е.В. Чубарова
НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика»,
г. Москва**



ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ АЛП (по DEF STAN 00-60)

Группа задач	Назначение
100 – Планирование и управление работами по АЛП	Формализованные действия по планированию и экспертизе программы АЛП и проекта изделия
200 – Анализ служебного назначения изделия и системы поддержки его эксплуатации (ИЛП)	Формирование требований к системе ИЛП и к проекту на основе сравнения с аналогами
300 – Подбор, анализ и сравнительная оценка альтернативных вариантов ИЛП	Разработка системы ИЛП, обеспечивающей оптимальный баланс затрат, производительности и поддерживаемости
400 – Разработка требований к ресурсам ИЛП	Определение требований к ресурсам, разработка планов ИЛП
500 – Оценка поддерживаемости по результатам эксплуатации	Проверка выполнения заданных требований и устранение недостатков

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОЙ ЗАДАЧИ АЛП

Анализ уровней ремонта (АУР – LORA)

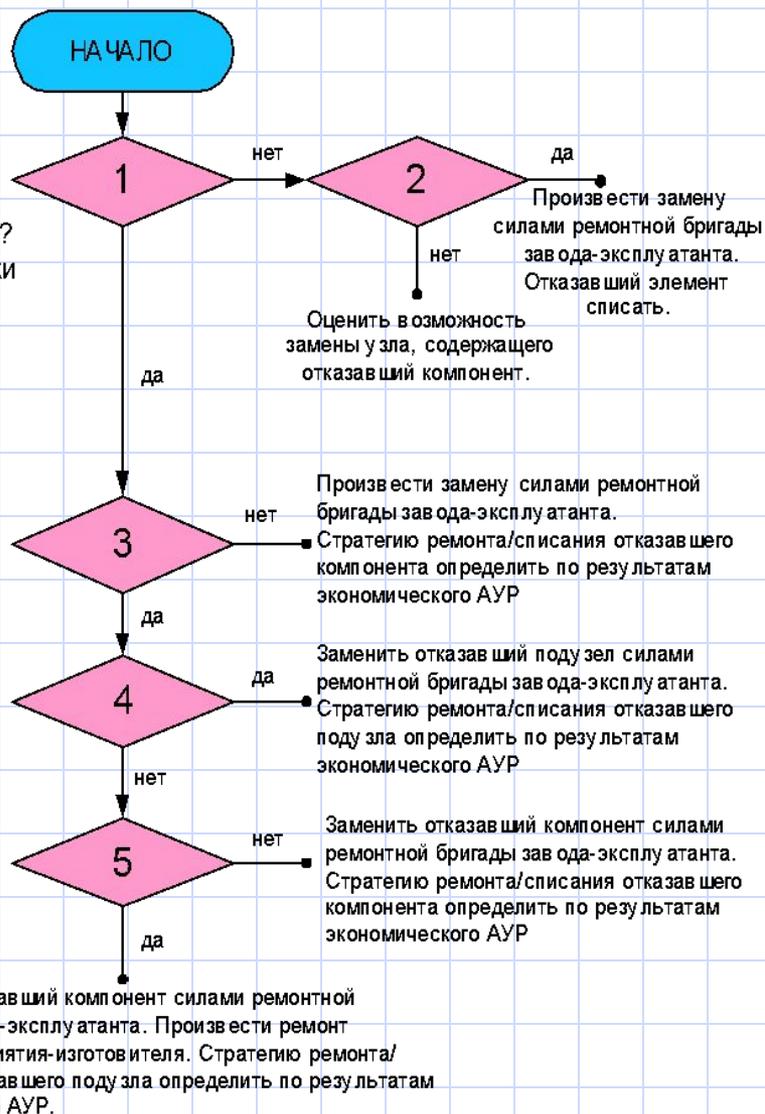
1) Возможен ли ремонт отказавшего компонента?

2) Возможна ли замена силами ремонтной бригады завода-эксплуатанта? Должны быть рассмотрены характеристики ремонтпригодности и монтажа.

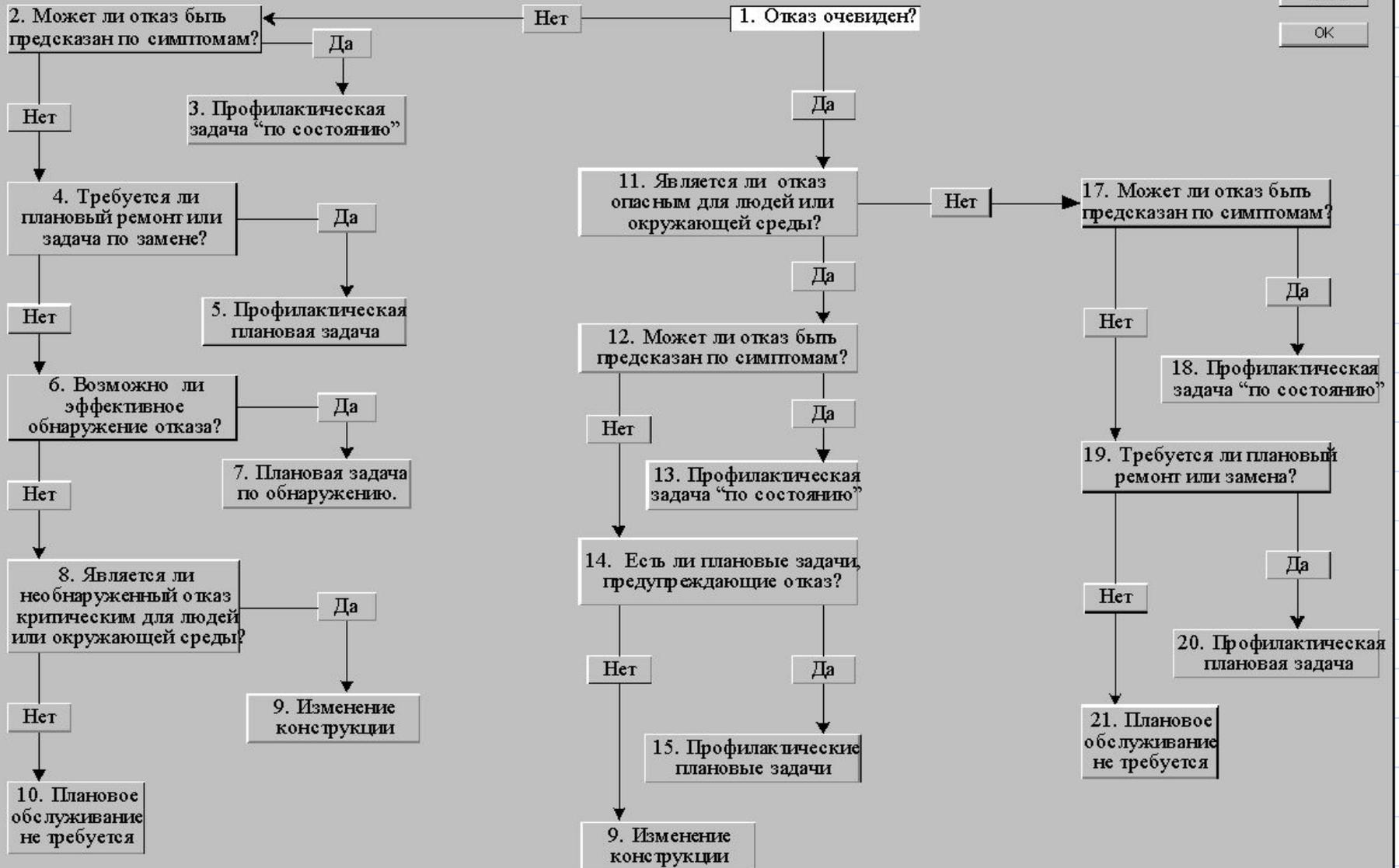
3) Содержит ли данный элемент подузлы?

4) Разрешена ли замена подузлов?

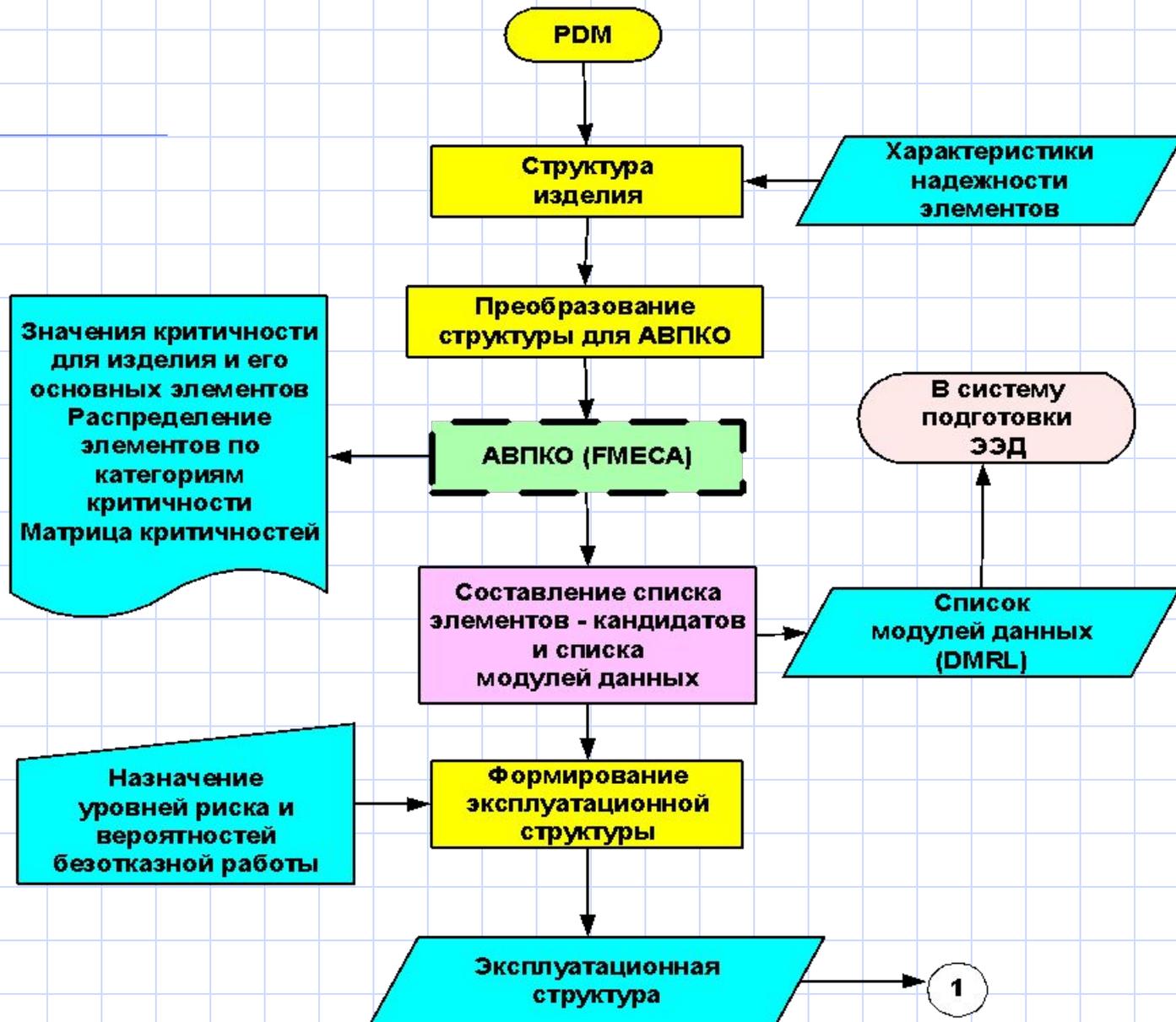
5) Принадлежат ли подузлы разным поставщикам?



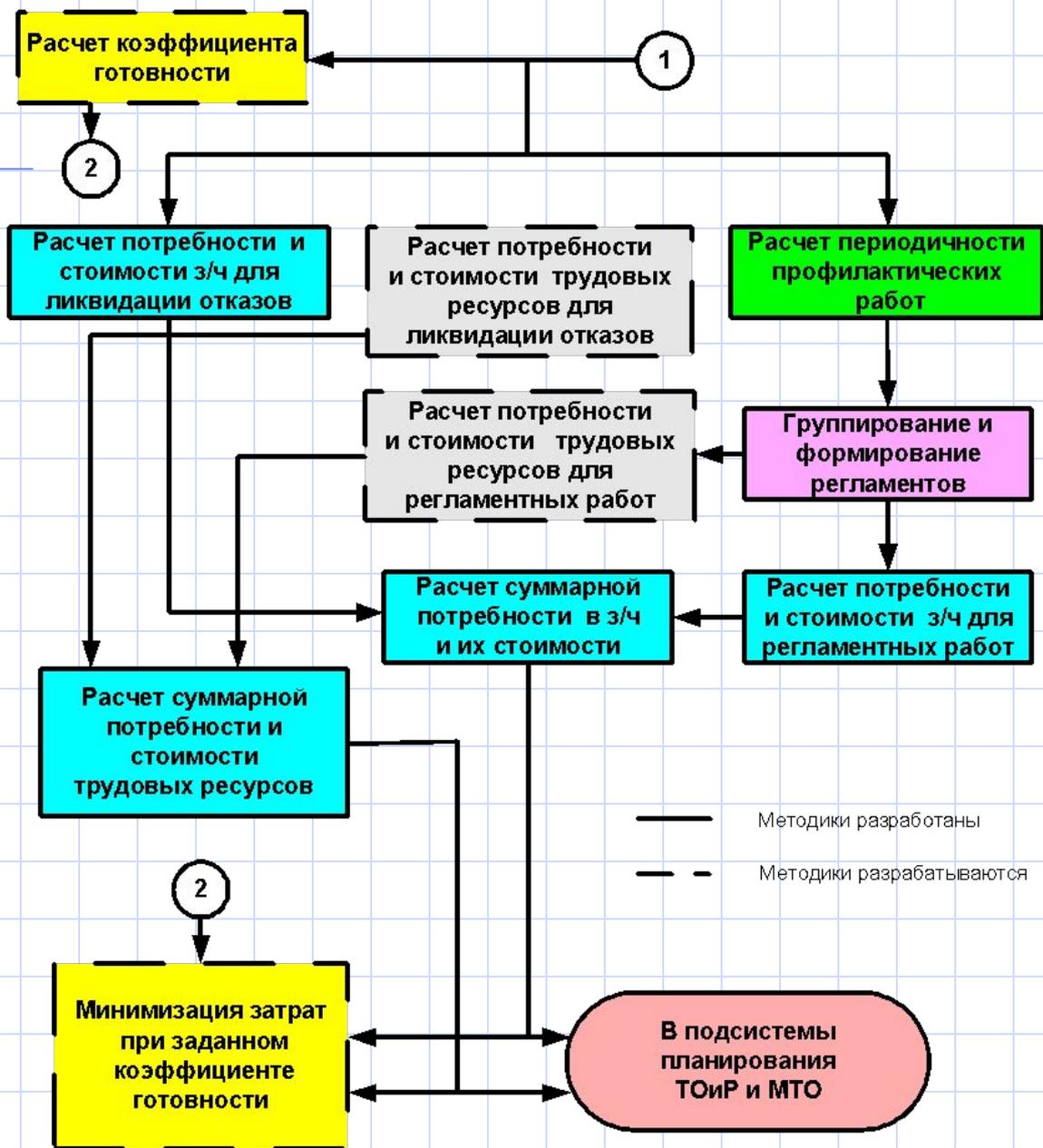
Алгоритм принятия решения об обслуживании



ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РЕШЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЗАДАЧ АЛП

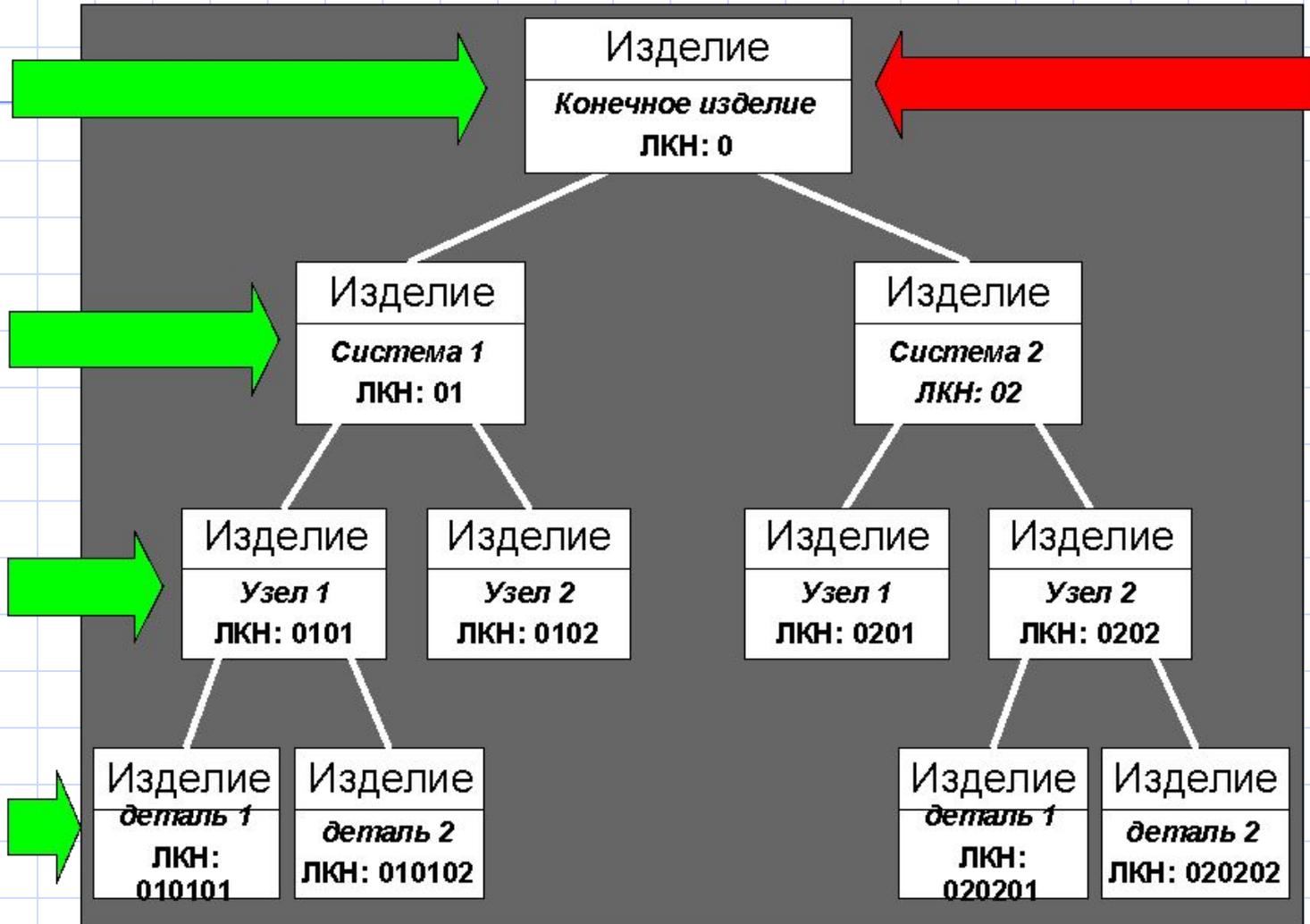


ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РЕШЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЗАДАЧ АЛП-2

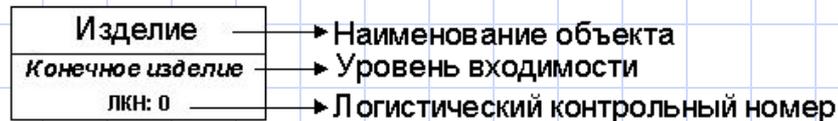


СТРУКТУРИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ АЛП

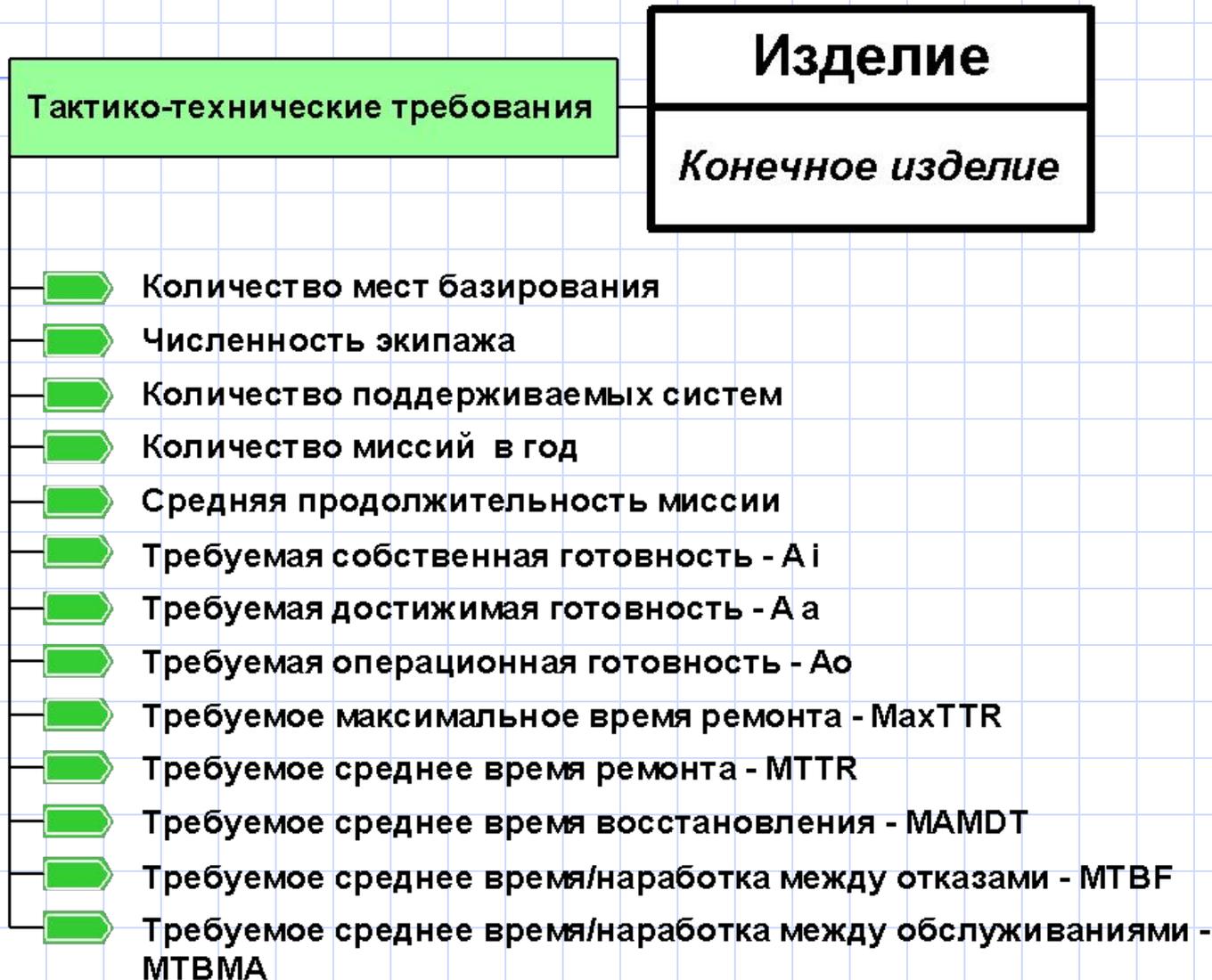
АНАЛИЗ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ



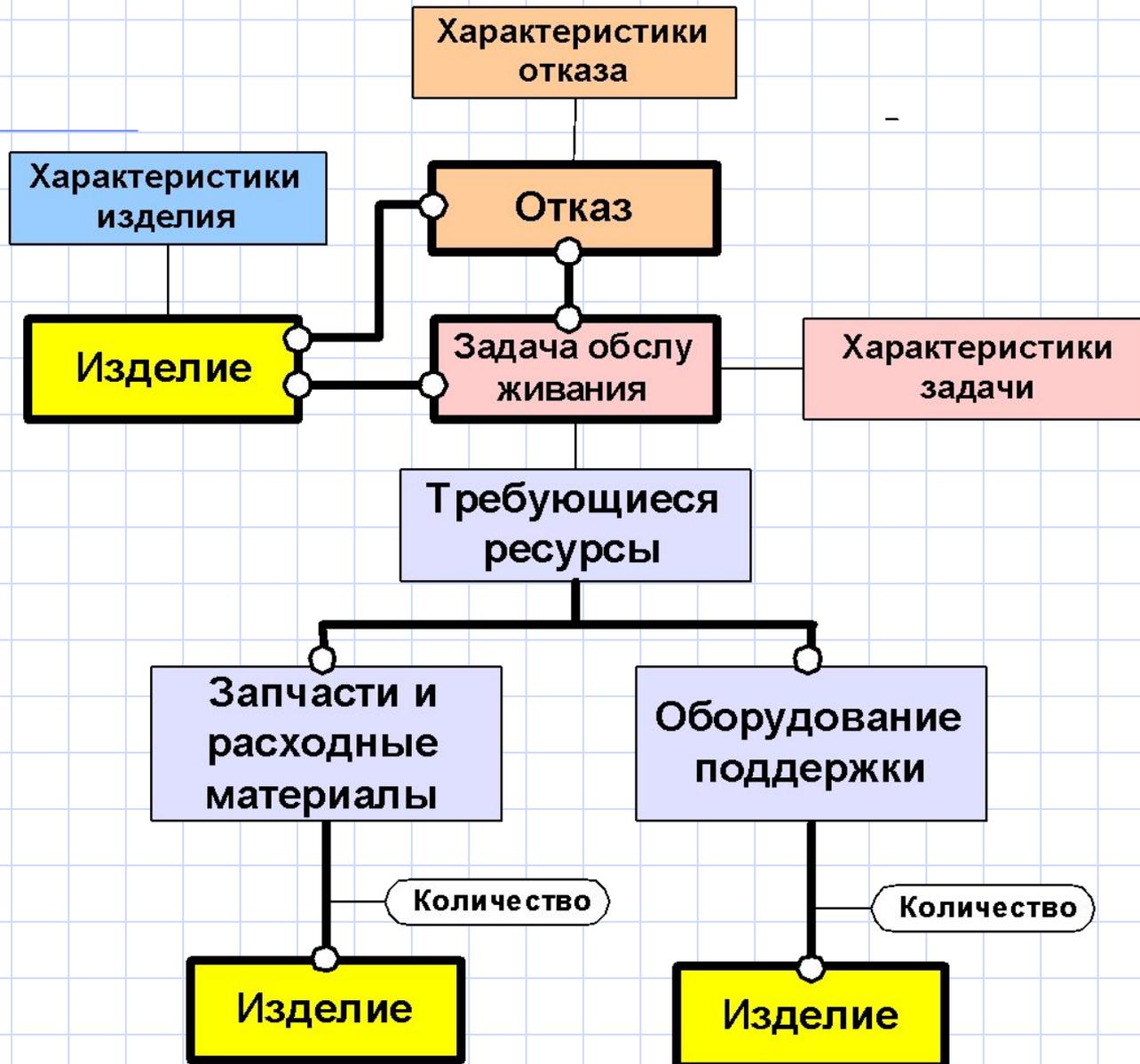
ЗАДАНИЕ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ



ЗАДАНИЕ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ



Фрагмент информационной модели АЛП



Основные характеристики объектов АЛП

Характеристики изделия

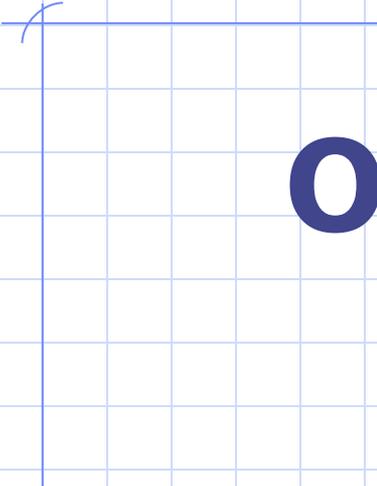
- ▶ Срок службы/ресурс до износа
- ▶ Назначенный срок службы/ресурс
- ▶ Функция
- ▶ Собственная готовность - A
- ▶ Достижимая готовность - A_a
- ▶ Операционная готовность - A_o
- ▶ Интенсивность отказов λ
- ▶ Максимальное время ремонта - Max TTR
- ▶ Среднее время ремонта - MTTR
- ▶ Среднее время/наработка между отказами - MTBF
- ▶ Среднее время/наработка между обслуживаниями - MTBMA

Характеристики задачи

- ▶ Код задачи
- ▶ Описание задачи
- ▶ Частота задачи
- ▶ Среднее время выполнения
- ▶ Трудоемкость выполнения
- ▶ Специальность исполнителя
- ▶ Квалификация исполнителя

Характеристики отказа

- ▶ Обозначение отказа
- ▶ Вид отказа
- ▶ Доля вида отказа
- ▶ Среднее время между отказами
- ▶ Причина отказа
- ▶ Метод обнаружения отказа
- ▶ Последствия отказа
- ▶ Категория тяжести последствий отказа
- ▶ Критичность вида отказа

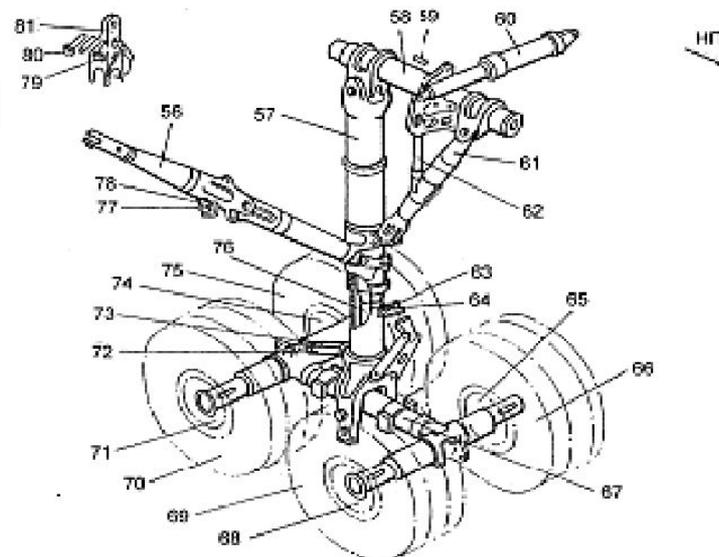


ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ АВПКО (FMECA)

КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА СТОЙКИ ШАССИ

Ту-204-120

РУКОВОДСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ



Левая основная опора шасси с агрегатами

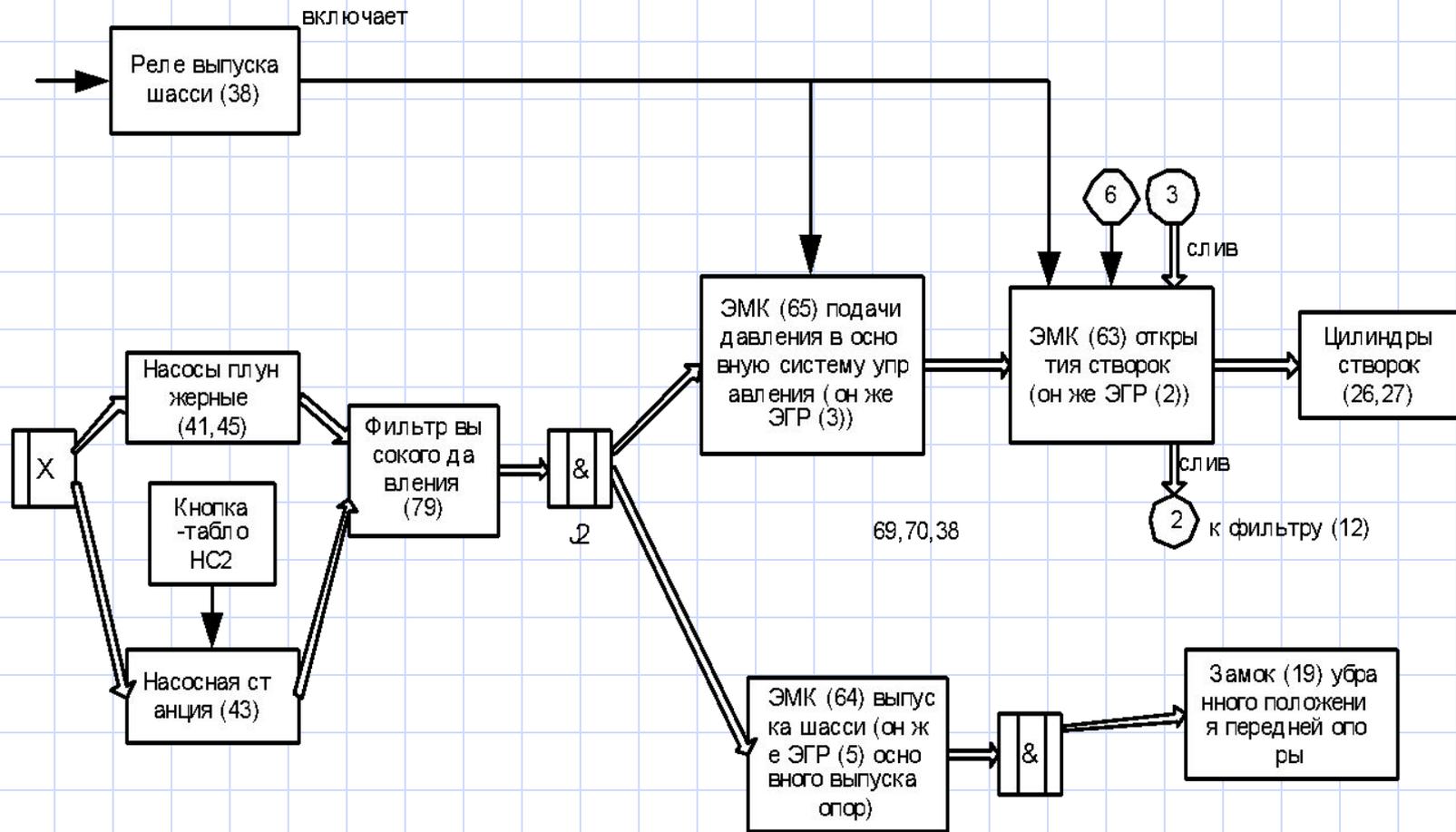
- | | |
|---|---|
| 56. Подкос | 59. Колесо КТ196 или КТ196Р |
| 57. Амортизационная стойка | 70. Колесо КТ196 или КТ196Р |
| 58. Траверса | 71. Электромашинный агрегат МТТГ-500/5-3с (032.44-А004) |
| 59. Датчик ДСК-1 (032.60-В001) | 72. Амортизатор стабилизирующий |
| 60. Цилиндр уборки-выпуска | 73. Амортизатор стабилизирующий |
| 61. Раскос | 74. Электромашинный агрегат МТТГ-500/5-3с (032.44-А003) |
| 62. Цилиндр резервного выпуска (032.30-0031) | 75. Колесо КТ196 или КТ196Р |
| 63. Выключатель концевой ВКП-В322 (032.60-С012) | 76. Амортизатор |
| 64. Выключатель концевой ВКП-В322 (032.60-С013) | 77. Выключатель концевой ВКП-В322 (032.60-С008) |
| 65. Электромашинный агрегат МТТГ-500/5-3с (032.44-А001) | 78. Выключатель концевой ВКП-В322 (032.60-С009) |
| 66. Колесо КТ196 или КТ196Р | 79. Выключатель концевой ВКП-В322 (032.60-С008) |
| 67. Тележка | 80. Выключатель концевой ВКП-В322 (032.60-С007) |
| 68. Электромашинный агрегат МТТГ-500/5-3с (032.44-А002) | 81. Замок (032.30-0030) |

Шасси

ФРАГМЕНТ КОНСТРУКТОРСКОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УБОРКИ/ВЫПУСКА ШАССИ

- [-]   ОБШ : Основной выпуск шасси
- [-]   ОБШ : Основной выпуск шасси :
 - [+]  () 032.31.01 : Цилиндр уборки-выпуска основной опоры : [2 Штука]
 - [+]  () 032.13.01 : Цилиндр створки основной опоры : [2 Штука]
 - [+]  () 032.31.10 : Замок убранного положения основной опоры : [2 Штука]
 - [+]  () 032.31.20 : Цилиндр уборки-выпуска передней опоры : [1 Штука]
 - [+]  () 032.31.21 : Замок убранного положения передней опоры : [1 Штука]
 - [+]  () АЗК1М-5 : Автомат защиты цепи управления выпуском и уборкой шасси АЗК1М-5 : [1 Штука]
 - [+]  () БГ : Бак гидравлический : Г2 [1 Штука]
 - [+]  () КВ ВКП-В322 : Концевой выключатель ВКП-В322 : [4 Штука]
 - [+]  () НС : Насосная станция : Г2 [1 Штука]
 - [+]  () ПУ ППГ-15К-2с : Переключатель управления ППГ-15К-2с : [2 Штука]
 - [+]  () Р РЭС52 РС4.555.020 : Реле РЭС52 РС4.555.020 : [8 Штука]
 - [+]  () Р ТКЕ22П1ГБ : Реле ТКЕ22П1ГБ : [3 Штука]
 - [+]  () Р ТКЕ24П1ГА : Реле ТКЕ24П1ГА : [4 Штука]
 - [+]  () РВ УВПМ1-405 : Реле времени УВПМ1-405 : [1 Штука]
 - [+]  () ФВД : Фильтр высокого давления : Г2 [1 Штука]
 - [+]  () ФНД : Фильтр низкого давления : Г2 [1 Штука]
 - [+]  () ЭГР 775100 НГЖ : Электрогидравлический распределитель 775100 НГЖ : [5 Штука]

ФРАГМЕНТ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ УБОРКИ/ВЫПУСКА ШАССИ



Фрагмент таблицы АВПКО

Среднее количество часов налёта в мес.	200... 250
Средняя продолжительность полёта (час.)	6...7
Среднее количество полётов в месяц	35
Среднее количество полётов в год	420
Среднее количество часов налёта в год	2730

Основной выпуск шасси

Наименование элемента	Колич.	Среднее количество циклов работы до отказа	Время работы за цикл (сек)	Время работы за год (час)	Интенсивность отказов (1/год)	Категория тяжести вида отказа
Автомат защиты цепи управления выпуском и уборкой шасси АЗК1М-5	1	140	12	2.8	3	2
Замок убранного положения основной опоры	1	350	3	0.7	1.2	1
Замок убранного положения передней опоры	1	350	2	0.46667	1.2	1
Концевой выключатель ВКП-В322	4	80	2	0.466667	5.25	2
						2
						2
Насосная станция	1	300	12	2.8	1.4	1
		300	12	2.8	1.4	2
Переключатель управления ППГ-15К-2с	2	140	1	0.233333	1	1

Продолжение
таблицы

Вид отказа	Доля вида отказа	Критичность вида отказа	Вспомогательная таблица для подсчёта уровней критичности элементов системы			
			Уровни критичности			
			1	2	3	4
Не сработал	1	8.4	0	3	0	0
Не открывается	1	0.84	1.2	0	0	0
Не открывается	1	0.56	1.2	0	0	0
Не размыкаются контакты	0.2	0.49	0	4.2	0	0
Не замыкаются контакты	0.3	0	0	6.3	0	0
Нет сигнала	0.5	0	0	10.5	0	0
Не работает	0.3	1.176	0.42	0	0	0
Не создаёт необходимого давления	0.7	2.744	0	0.98	0	0
Не подаётся питание а цепь управления при включении переключателя	1	0.233333	2	0	0	0

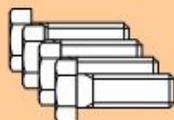


МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОТРЕБНОСТИ В ЗАПЧАСТЯХ ДЛЯ ВНЕПЛАНОВЫХ РАБОТ

Параметры начального и текущего материально технического обеспечения (МТО) сложных технических изделий

✓ Для планового технического обслуживания и ремонта

✓ Для внепланового технического обслуживания и ремонта

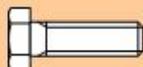


Уровень начального запаса



Коэффициент готовности парка конечных изделий

$$K \geq K_{\text{треб}}$$



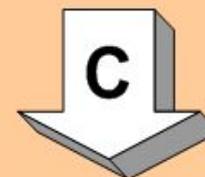
Уровень минимального запаса



Объем партии поставки



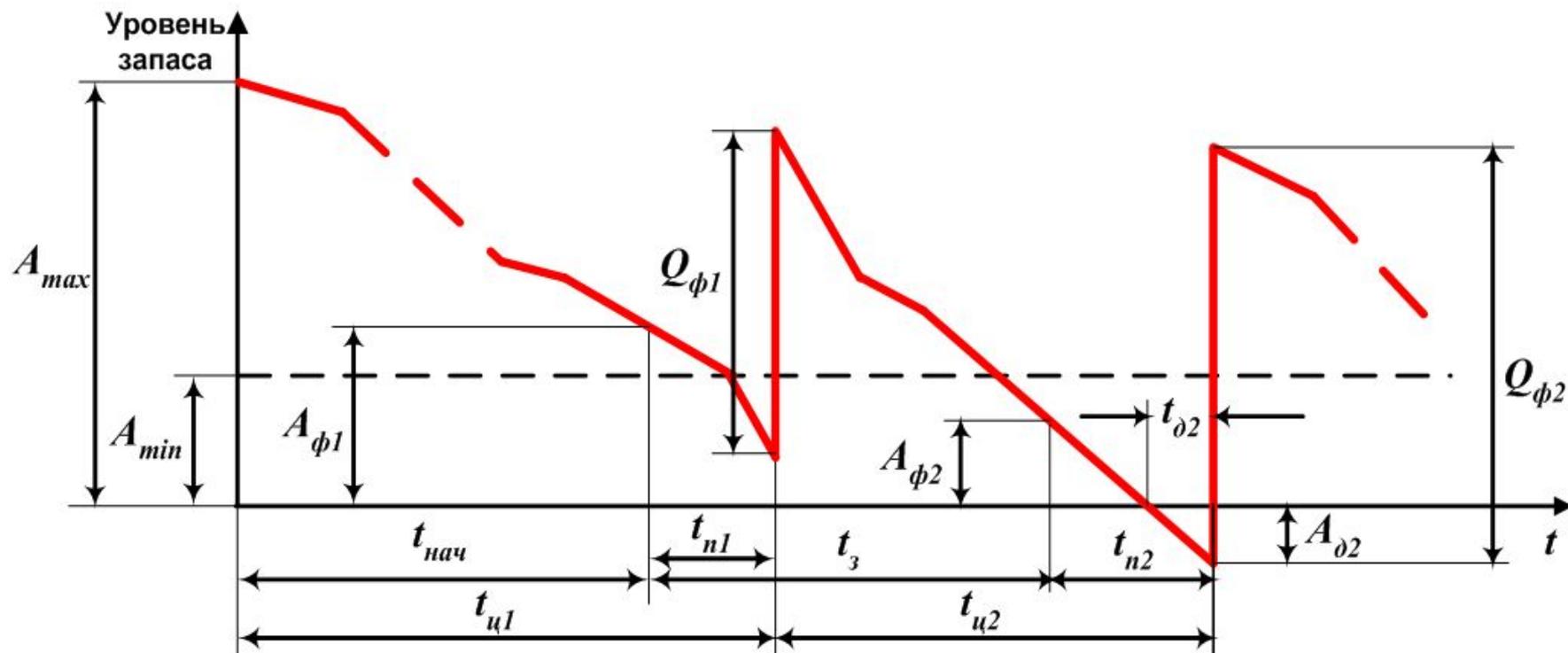
Издержки, связанные с закупкой, доставкой и хранением запчастей



✓ **R** - уровень риска

Вероятность отсутствия запчасти на складе в тот момент, когда она понадобится.

Примерный процесс движения запасов на складе



✓ A_{max} - уровень начального запаса;

✓ A_{min} - уровень минимального запаса;

✓ Q - объем партии поставки;

$Q_{\phi k}$ - фактический объем партии поставки для k-го цикла;

$$Q_{\phi k} = Q - A_{\phi k} + A_{min} \quad (1)$$

$A_{\phi k}$ - фактический уровень запаса для k-го цикла на момент формирования заказа;

$t_{нач}$ - продолжительность начального МТО;

t_3 - горизонт планирования заказов;

t_{nk} - фактическое время выполнения поставки для k-го цикла;

$t_{цk}$ - фактическое время k-го цикла;

$A_{\delta k}$ - уровень дефицита для k-го цикла;

$t_{\delta k}$ - время, в течение которого существует дефицит, для k-го цикла, ($k = 1, 2, 3, \dots$).

Средние значения параметров МТО

A_{max} → ✓ Средний уровень начального запаса

$$a_{max} = \tilde{\lambda} \cdot n \cdot (t_{нач} + t_n) \quad (2)$$

A_{min} → ✓ Средний уровень минимального запаса

$$a_{min} = \tilde{\lambda} \cdot n \cdot t_n \quad (3)$$

Q → ✓ Средний объем партии поставки

$$q = \tilde{\lambda} \cdot n \cdot t_3 \quad (4)$$

$\tilde{\lambda}$ - интенсивность отказов одной детали, приведенная к используемому временному базису (например, 1/мес).

n - количество деталей, одновременно находящихся в эксплуатации

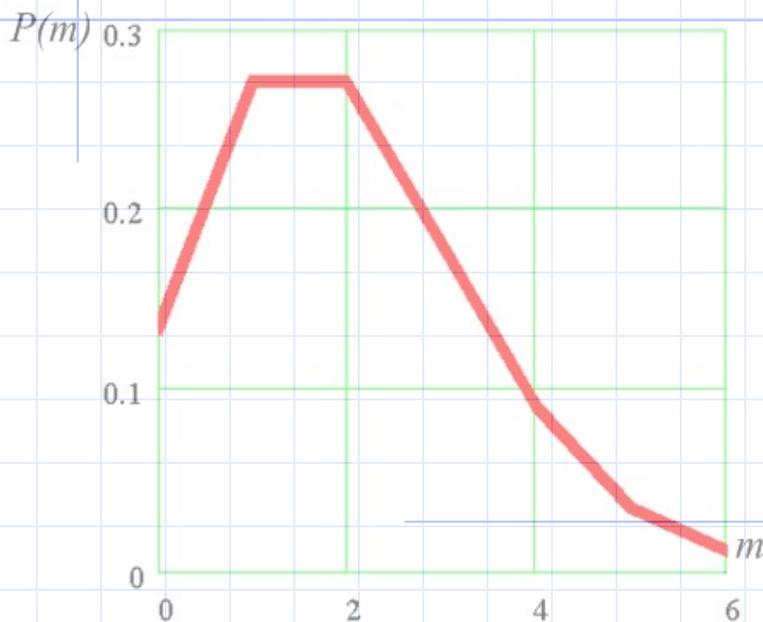
Определение требуемого количества запчастей для замены одного типа деталей в течение определенного периода

Вероятность появления m отказов
 Вероятность появления от 0 до m отказов

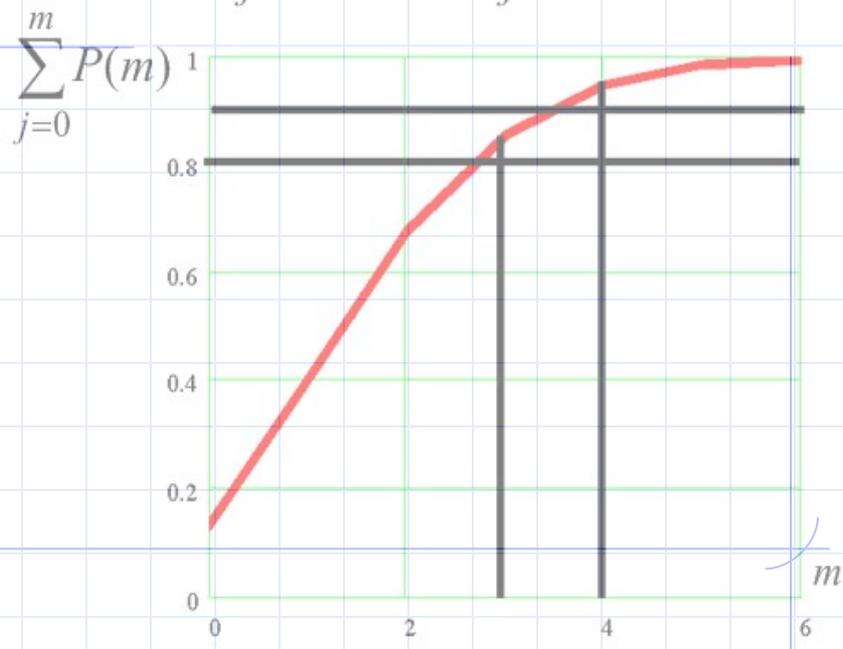
Слайд 5. Определение требуемого количества запчастей для замены одного типа деталей в течение определенного периода

Накопленная вероятность появления от 0 до m отказов

$$P(m) = \frac{\mu^m}{m!} e^{-\mu} \quad (5)$$

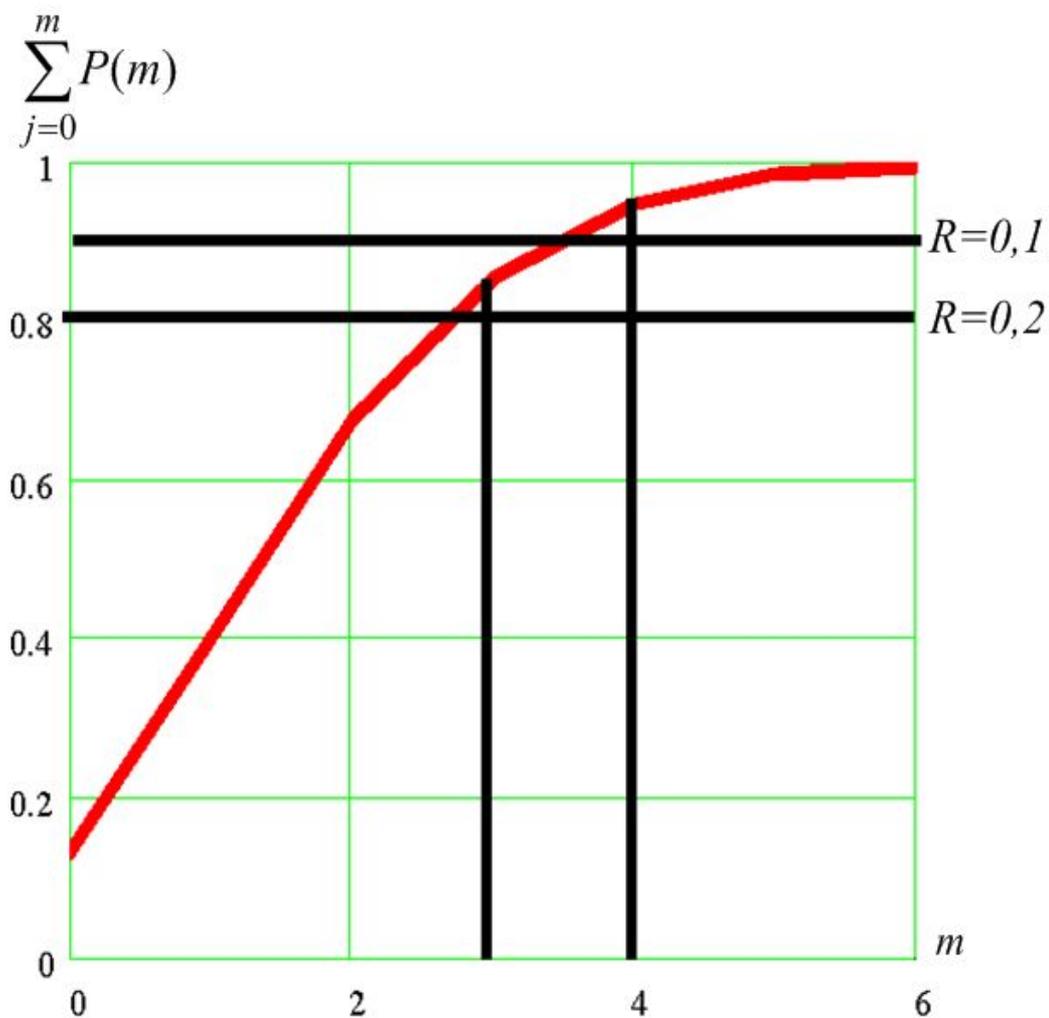


$$\sum_{j=0}^m P(m) = \sum_{j=0}^m \frac{\mu^j}{j!} e^{-\mu} \quad (6)$$



μ - среднее количество отказов за рассматриваемый период (интенсивность отказов)

Определение требуемого количества запчастей для замены одного типа деталей в течение определенного периода



$$\sum_{j=0}^m P(m) = 1 - R \quad (7)$$

$$1 - R \leq \sum_{j=0}^m \frac{\mu^j}{j!} e^{-\mu} \quad (8)$$

m

$R=0,1 \quad m=4$ шт.

$R=0,2 \quad m=3$ шт.

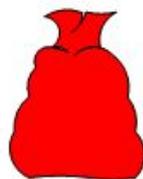
Определение параметров МТО

$$1 - R \leq \sum_{j=0}^m \frac{\mu^j}{j!} e^{-\mu} \quad (8)$$



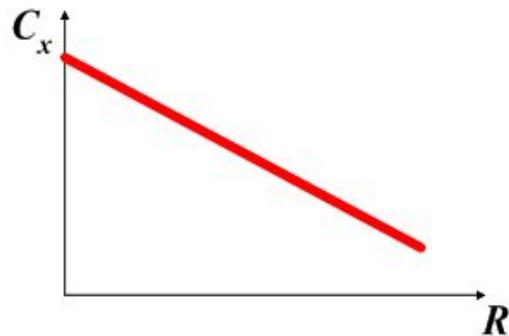
$$m = \begin{cases} A_{max} & \text{при } \mu = a_{max} \\ A_{min} & \text{при } \mu = a_{min} \\ Q & \text{при } \mu = q \end{cases} \quad (9)$$

$R \rightarrow C \rightarrow \min$ при $K \geq K_{\text{треб}}$



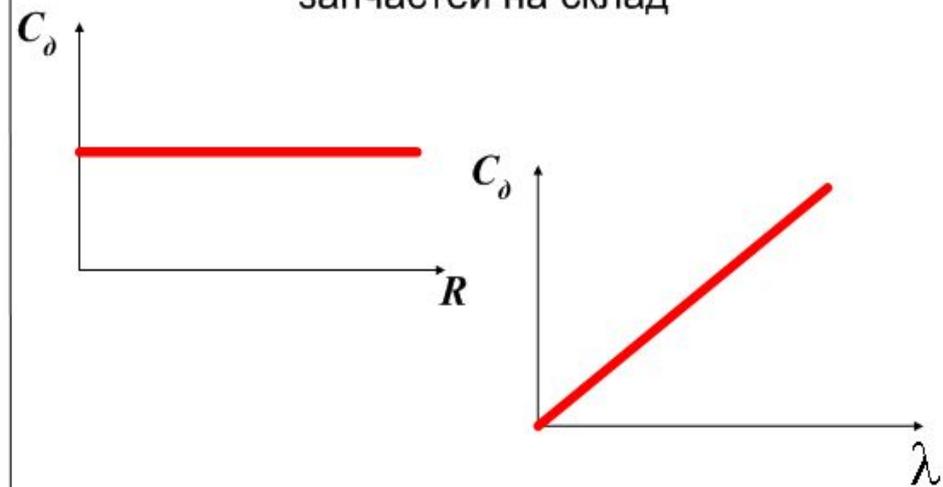
✓ $K = f(R) \rightarrow$ убывающая функция

Затраты на хранение запчастей

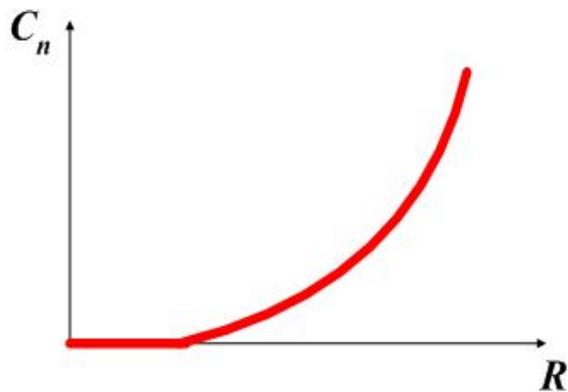


$$C_x = \alpha(\lambda) \cdot R + \beta(\lambda) \quad (10)$$

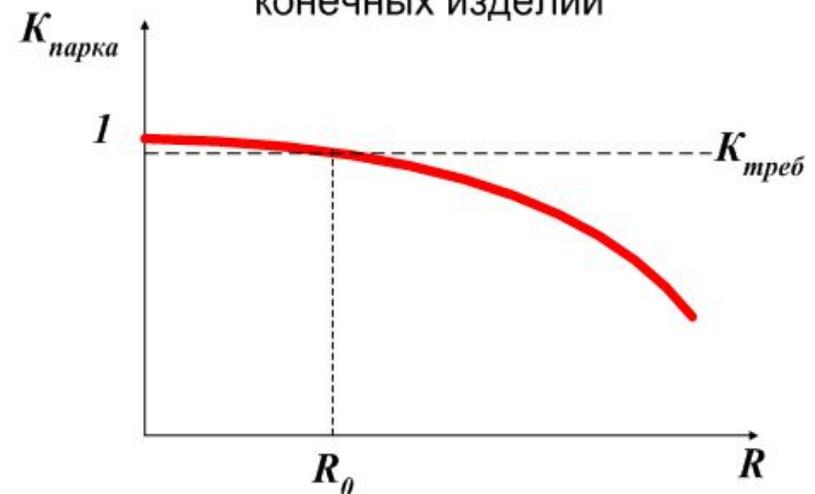
Затраты на закупку и доставку запчастей на склад



Издержки от простоя конечных изделий



Коэффициент готовности парка конечных изделий





МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПЕРИОДИЧНОСТИ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

К оценке периодичности профилактических работ

Средняя наработка на отказ

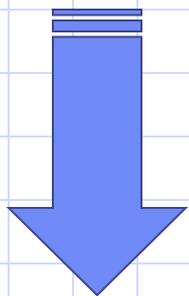
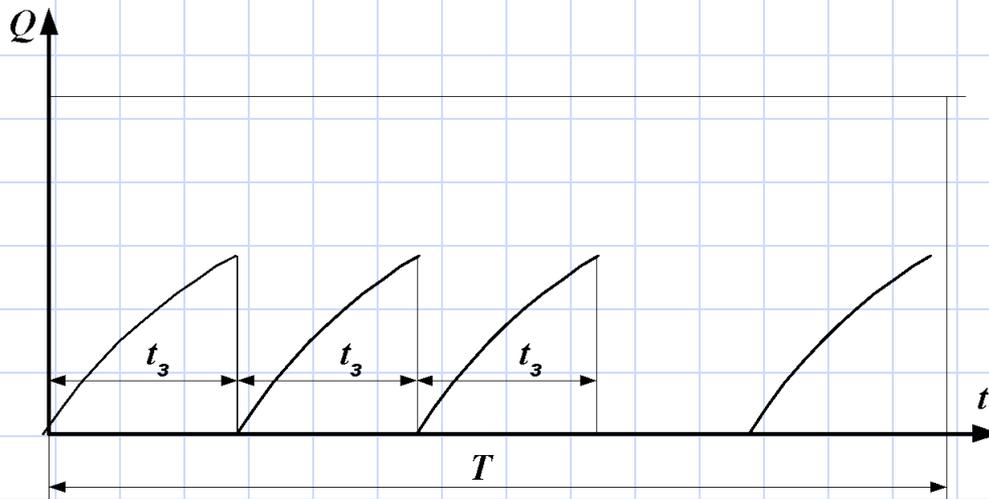
$$t_{cp} = \frac{1}{\lambda}$$

Вероятность отказа

$$Q(t_3) = (1 - e^{-\lambda t_3})$$

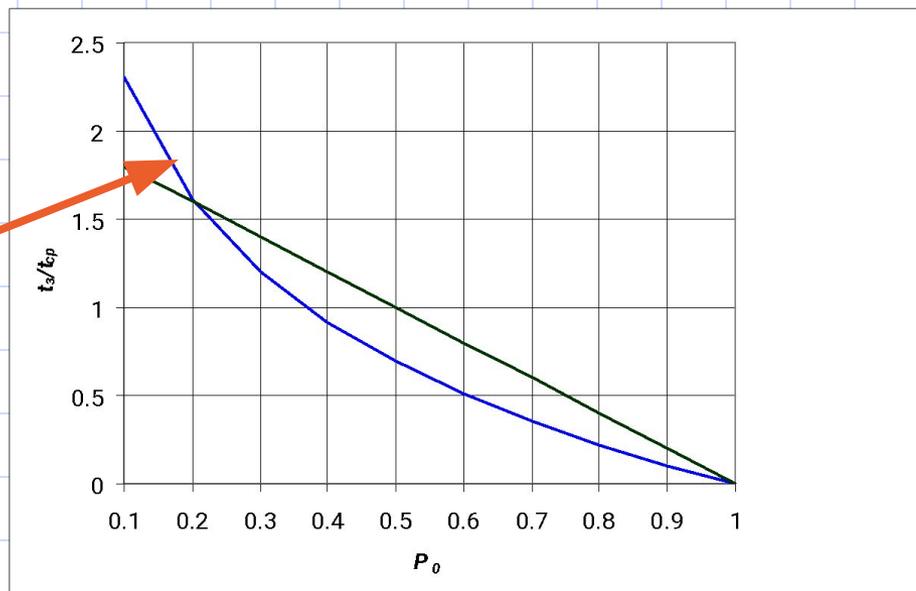
Вероятность безотказной работы

$$P(t_3) = e^{-\lambda t_3} \geq P_0 \text{ - допустимая вероятность безотказной работы}$$



$$\frac{t_3}{t_{cp}} \leq -\ln P_0$$

Если $P_0 = 0,9$, то $t_3 \leq 0,105 t_{cp}$



К оценке периодичности профилактических работ-2

$$\tilde{Q} = \frac{1}{T} \left(\left[\frac{T}{t_3} \right] \int_0^{t_3} (1 - e^{-\lambda t}) dt + \delta \right) \quad \text{где } \left[\frac{T}{t_3} \right] \text{ — целая часть, а}$$

δ — дробная часть отношения T/t_3 .

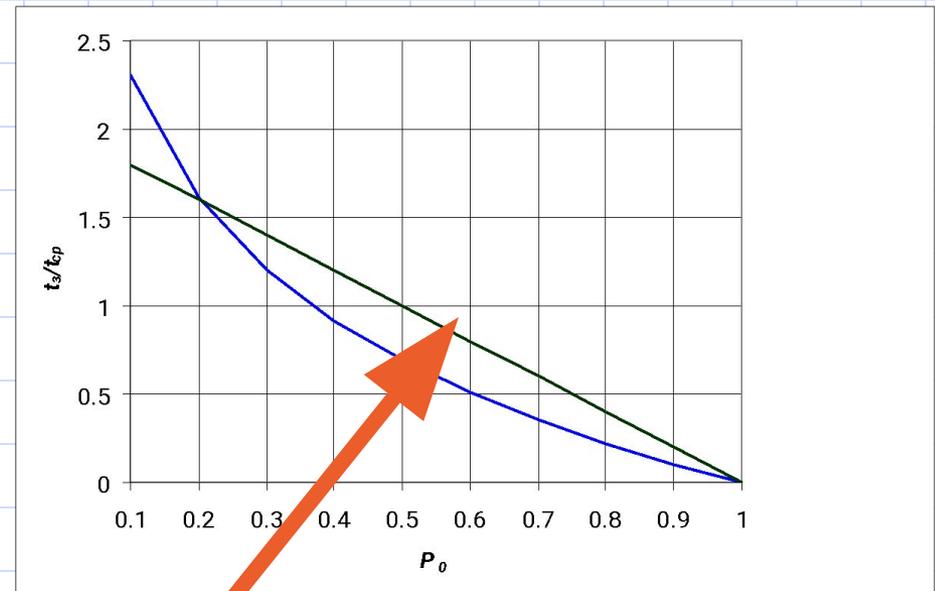
При $(T/t_3) \gg 1$ и $\delta = 0$

$$\tilde{Q} = \frac{1}{t_3} \int_0^{t_3} (1 - e^{-\lambda t}) dt$$

$$\tilde{Q} = 1 - \frac{t_{cp}}{t_3} (1 - e^{-\frac{t_3}{t_{cp}}})$$

$$\tilde{P} = \frac{t_{cp}}{t_3} (1 - e^{-\frac{t_3}{t_{cp}}})$$

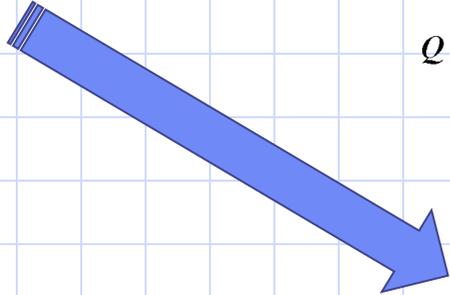
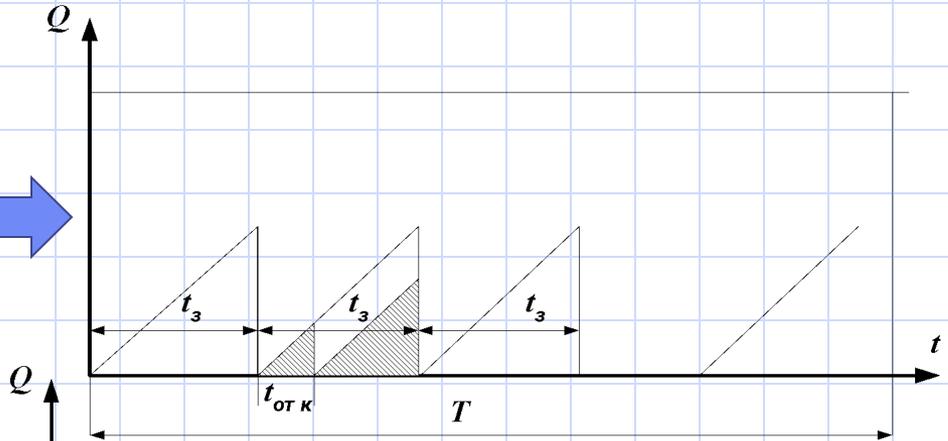
$$\frac{t_3}{t_{cp}} \leq 2(1 - P_0)$$



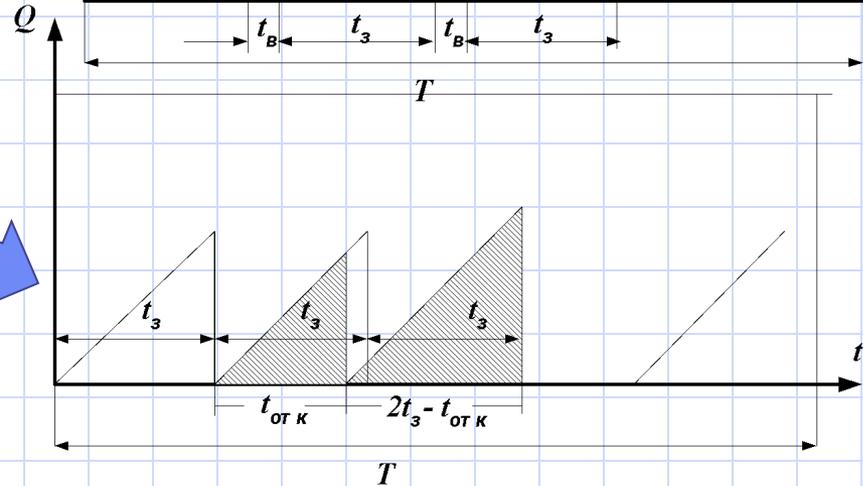
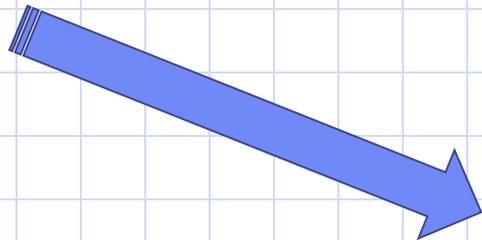
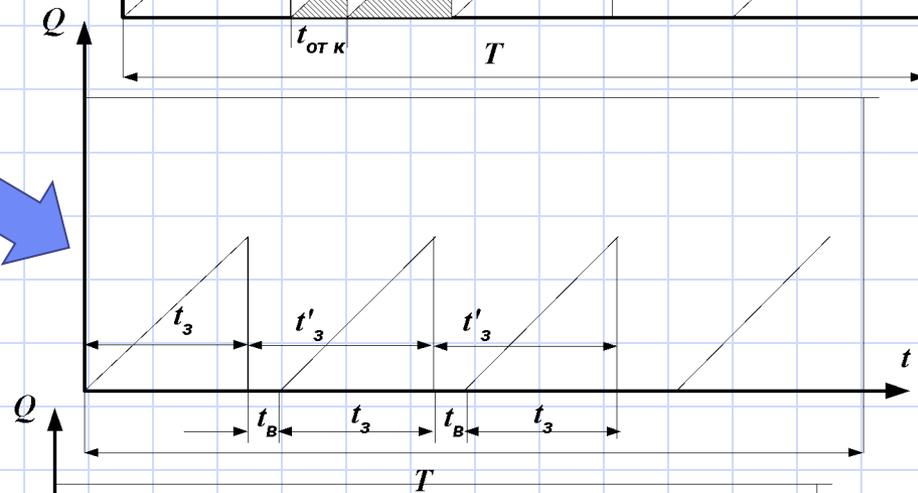
К оценке периодичности профилактических работ-3

Отказ между профилактиками

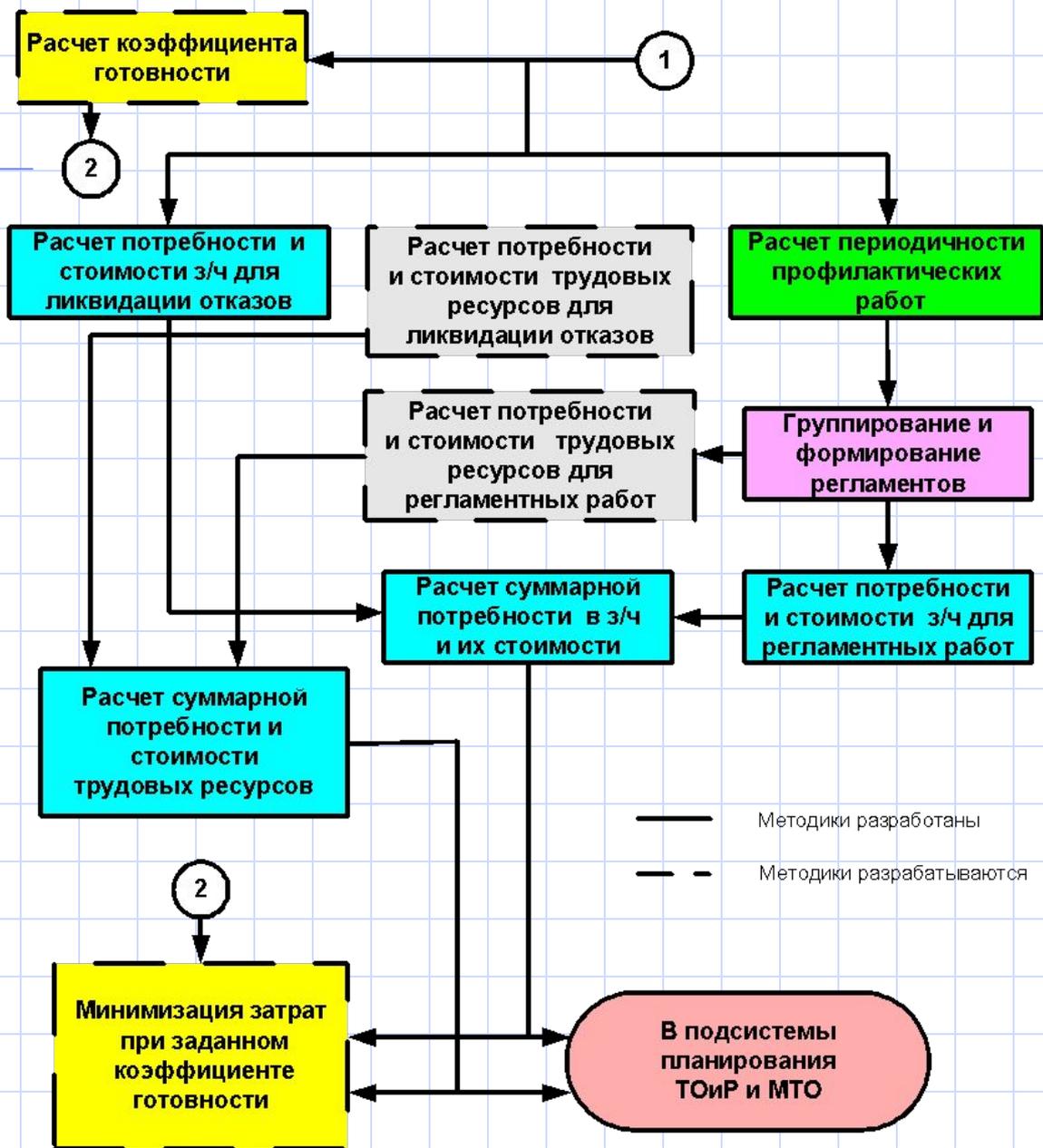
$$t_3 \leq 2t_{cp}(1 - P_0)$$



$$t_{cp}(1 - P_0) \geq t_3 \geq -t_{cp} \ln P_0$$



ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РЕШЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЗАДАЧ АЛП-2



Методика АВПКО позволяет:

Сформировать список изделий – кандидатов на обслуживание и эксплуатационную структуру изделия;

Получить часть исходных данных для формирования комплекта ЭЭД

Получить исходные данные для расчета периодичности профилактических работ и потребности в запчастях

Методика расчета потребности в запчастях позволяет:

Определить номенклатуру и количество запчастей, необходимых для устранения случайных отказов, в составе начального МТО

Определять прогнозные значения объема партий поставок запчастей на склады различных уровней

Определять минимальные допустимые уровни запасов на складах

Определять затраты, связанные с закупкой, доставкой и хранением запчастей

Определять значения коэффициента готовности в зависимости от уровня риска

Методика расчета периодичности профилактических работ позволяет:

Определять длительность периода между профилактиками, обеспечивающую заданную вероятность безотказной работы

Формировать перечни операций по обслуживанию в заданных интервалах времени/наработки (состав регламентных работ)

Для элементов с высокими уровнями критичности определять потребность в замене (потребное количество и затраты на приобретение, доставку, хранение)

Определять потребности во вспомогательных (расходных) материалах, инструменте и оборудовании (с доработкой!) и т.д.