

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

---

Институт Теплоэнергетики и Технической Физики  
КАФЕДРА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
СТАНЦИЙ

**ТИПОВОЙ РАСЧЁТ**

по курсу

«Надёжность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС»

«Определение показателей надёжности энергоблока»

Студент:

Группа:

Преподаватель: Моисейцева Е.И.

## Исходные данные.

Компоненты схемы	Количество компонентов, шт	Тр, час	Тв, час	Мощность компонента от номинальной мощности энергоблока, %
1. Дутьевой вентилятор	n1 = 3	Тр1 = 23000	Тв1 = 22	N1 = 50
2. Дымосос	n2 = 3	Тр2 = 30000	Тв2 = 27	N2 = 70
3. Паровой котёл	n3 = 1	Тр3 = 5400	Тв3 = 69	N3 = 100
4. Паровая турбина	n4 = 1	Тр4 = 7000	Тв4 = 60	N4 = 100
5. Конденсатор	n5 = 1	Тр5 = 29000	Тв5 = 22	N5 = 100
6. Конденсатный насос	n6 = 2	Тр6 = 34000	Тв6 = 24	N6 = 2
7. ПНД	группа	Тр7 = 21000	Тв7 = 19	N7 = 15
8. Деаэратор	n8 = 2	Тр8 = 33000	Тв8 = 29	N8 = 60
9. Питательный насос	n9 = 1	Тр9 = 19000	Тв9 = 31	N9 = 100
10. ПВД	группа	Тр10 = 19000	Тв10 = 33	N10 = 15
11. Циркуляционный насос	n11 = 2	Тр11 = 37000	Тв11 = 36	N11 = 50
12. Топливный насос	n12 = 2	Тр12 = 14000	Тв12 = 23	N12 = 60

### Оценка показателей готовности подсистем

#### ПС-1 (паровой котел, паровая турбина, конденсатор)

Для трёх последовательно соединенных компонент:

Среднее время безотказной работы подсистемы  $T_{р\_ПС1} = \left( \frac{1}{T_{р3}} + \frac{1}{T_{р4}} + \frac{1}{T_{р5}} \right)^{-1}$   $T_{р\_ПС1} = 2758$  ч

Среднее время восстановления подсистемы  $T_{в\_ПС1} = \left( \frac{1}{T_{в3}} + \frac{1}{T_{в4}} + \frac{1}{T_{в5}} \right) \left( \frac{1}{T_{р3}} + \frac{1}{T_{р4}} + \frac{1}{T_{р5}} \right)^{-1}$

$T_{в\_ПС1} = 60,98$  ч

Коэффициент готовности подсистемы  $k_{г\_ПС1} = \frac{T_{р\_ПС1}}{T_{р\_ПС1} + T_{в\_ПС1}}$   $k_{г\_ПС1} = 0,97837$

#### подсистема ПС-2 (топливные насосы)

Для двух параллельно соединенных компонент:

Среднее время безотказной работы подсистемы  $T_{р\_ПС2} = \frac{1}{\frac{1}{T_{р12}}} \left( 1 + \frac{1}{2} \right)$   $T_{р\_ПС2} = 21000$  ч

Среднее время восстановления подсистемы

т.к. ограниченное число восстановлений, то  $T_{в\_ПС2} = T_{в12}$   $T_{в\_ПС2} = 23$  ч

Коэффициент готовности подсистемы  $k_{г\_ПС2} = \frac{T_{р\_ПС2}}{T_{р\_ПС2} + T_{в\_ПС2}}$   $k_{г\_ПС2} = 0,9998906$

#### подсистема ПС-3 (дутьевые вентиляторы)

Для трёх параллельно соединенных компонент:

Среднее время безотказной работы подсистемы  $T_{р\_ПС3} = \frac{1}{\frac{1}{T_{р1}} \left( 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \right)}$   $T_{р\_ПС3} = 42167$  ч

Среднее время восстановления подсистемы

т.к. ограниченное число восстановлений, то  $T_{в\_ПС3} = T_{в1}$   $T_{в\_ПС3} = 22$  ч

Коэффициент готовности подсистемы  $k_{г\_ПС3} = \frac{T_{р\_ПС3}}{T_{р\_ПС3} + T_{в\_ПС3}}$   $k_{г\_ПС3} = 0,999479$

#### подсистема ПС-4 (дымососы)

Для трёх параллельно соединенных компонент:

Среднее время безотказной работы подсистемы  $T_{р\_ПС4} = \frac{1}{\frac{1}{T_{р2}} \left( 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \right)}$   $T_{р\_ПС4} = 53000$  ч

Среднее время восстановления подсистемы

т.к. ограниченное число восстановлений, то  $T_{в\_ПС4} = T_{в2}$   $T_{в\_ПС4} = 27$  ч

Коэффициент готовности подсистемы  $k_{г\_ПС4} = \frac{T_{р\_ПС4}}{T_{р\_ПС4} + T_{в\_ПС4}}$   $k_{г\_ПС4} = 0,999509$

#### подсистема ПС-5 (деаэраторы)

Для двух параллельно соединенных компонент:

Среднее время безотказной работы подсистемы  $T_{р\_ПС5} = \frac{1}{\frac{1}{T_{р8}} \left( 1 + \frac{1}{2} \right)}$   $T_{р\_ПС5} = 49500$  ч

Среднее время восстановления подсистемы

т.к. ограниченное число восстановлений, то  $T_{в\_ПС5} = T_{в8}$   $T_{в\_ПС5} = 29$  ч

Коэффициент готовности подсистемы  $k_{г\_ПС5} = \frac{T_{р\_ПС5}}{T_{р\_ПС5} + T_{в\_ПС5}}$   $k_{г\_ПС5} = 0,999414$

#### подсистема ПС-6 (конденсатные насосы)

Для двух параллельно соединенных компонент:

Среднее время безотказной работы подсистемы  $T_{р\_ПС6} = \frac{1}{\frac{1}{T_{р6}} \left( 1 + \frac{1}{2} \right)}$   $T_{р\_ПС6} = 51000$  ч

Среднее время восстановления подсистемы

т.к. ограниченное число восстановлений, то  $T_{в\_ПС6} = T_{в6}$   $T_{в\_ПС6} = 24$  ч

Коэффициент готовности подсистемы  $k_{г\_ПС6} = \frac{T_{р\_ПС6}}{T_{р\_ПС6} + T_{в\_ПС6}}$   $k_{г\_ПС6} = 0,99953$

#### подсистема ПС-7 (циркуляционные насосы)

Для двух параллельно соединенных компонент:

Среднее время безотказной работы подсистемы  $T_{р\_ПС7} = \frac{1}{\frac{1}{T_{р11}} \left( 1 + \frac{1}{2} \right)}$   $T_{р\_ПС7} = 55500$  ч

Среднее время восстановления подсистемы

т.к. ограниченное число восстановлений, то  $T_{в\_ПС7} = T_{в11}$   $T_{в\_ПС7} = 36$  ч

Коэффициент готовности подсистемы  $k_{г\_ПС7} = \frac{T_{р\_ПС7}}{T_{р\_ПС7} + T_{в\_ПС7}}$   $k_{г\_ПС7} = 0,999352$

#### подсистема ПС-8 (питательный насос)

Для одного компонента:

Среднее время безотказной работы подсистемы  $T_{р\_ПС8} = T_{р9}$   $T_{р\_ПС8} = 19000$  ч

Среднее время восстановления подсистемы  $T_{в\_ПС8} = T_{в9}$   $T_{в\_ПС8} = 31$  ч

Коэффициент готовности подсистемы  $k_{г\_ПС8} = \frac{T_{р\_ПС8}}{T_{р\_ПС8} + T_{в\_ПС8}}$   $k_{г\_ПС8} = 0,998371$

#### подсистема ПС-9 (группа ПНД)

Для одного компонента:

Среднее время безотказной работы подсистемы  $T_{р\_ПС9} = T_{р7}$   $T_{р\_ПС9} = 21000$  ч

Среднее время восстановления подсистемы  $T_{в\_ПС9} = T_{в7}$   $T_{в\_ПС9} = 19$  ч

Коэффициент готовности подсистемы  $k_{г\_ПС9} = \frac{T_{р\_ПС9}}{T_{р\_ПС9} + T_{в\_ПС9}}$   $k_{г\_ПС9} = 0,999096$

#### подсистема ПС-10 (группа ПВД)

Для одного компонента:

Среднее время безотказной работы подсистемы  $T_{р\_ПС10} = T_{р10}$   $T_{р\_ПС10} = 19000$  ч

Среднее время восстановления подсистемы  $T_{в\_ПС10} = T_{в10}$   $T_{в\_ПС10} = 33$  ч

Коэффициент готовности подсистемы  $k_{г\_ПС10} = \frac{T_{р\_ПС10}}{T_{р\_ПС10} + T_{в\_ПС10}}$   $k_{г\_ПС10} = 0,998266$

## Показатели надёжности энергоблока

Дублируем питательный насос, т.к. это наименее надёжный элемент:

$T_{р\_ПС8\_рзв} = \frac{3}{2} \cdot T_{р9}$   $T_{р\_ПС8\_рзв} = 28500$  ч

Расчетные формулы

Время работы энергоблока

$T_{р} = \frac{1}{\frac{1}{T_{р\_ПС1}} + \frac{1}{T_{р\_ПС2}} + \frac{1}{T_{р\_ПС3}} + \frac{1}{T_{р\_ПС4}} + \frac{1}{T_{р\_ПС5}} + \frac{1}{T_{р\_ПС6}} + \frac{1}{T_{р\_ПС7}} + \frac{1}{T_{р\_ПС8}} + \frac{1}{T_{р\_ПС9}} + \frac{1}{T_{р\_ПС10}}}$

$T_{р} = 1509$  ч

Время восстановления энергоблока

$T_{в} = \frac{\frac{1}{T_{р\_ПС1}} \cdot T_{в\_ПС1} + \frac{1}{T_{р\_ПС2}} \cdot T_{в\_ПС2} + \frac{1}{T_{р\_ПС3}} \cdot T_{в\_ПС3} + \frac{1}{T_{р\_ПС4}} \cdot T_{в\_ПС4} + \frac{1}{T_{р\_ПС5}} \cdot T_{в\_ПС5} + \dots}{\frac{1}{T_{р\_ПС1}} + \frac{1}{T_{р\_ПС2}} + \frac{1}{T_{р\_ПС3}} + \frac{1}{T_{р\_ПС4}} + \frac{1}{T_{р\_ПС5}} + \dots}$

$T_{в} = 45,56$  ч

Время работы энергоблока при замене наименее надежного элемента

$T_{р\_рзв} = \frac{1}{\frac{1}{T_{р\_ПС1}} + \frac{1}{T_{р\_ПС2}} + \frac{1}{T_{р\_ПС3}} + \frac{1}{T_{р\_ПС4}} + \frac{1}{T_{р\_ПС5}} + \frac{1}{T_{р\_ПС6}} + \frac{1}{T_{р\_ПС7}} + \frac{1}{T_{р\_ПС8\_рзв}} + \frac{1}{T_{р\_ПС9}} + \frac{1}{T_{р\_ПС10}}}$

$T_{р\_рзв} = 1550$  ч

Интенсивность отказов энергоблока  $\lambda = \frac{1}{T_{р}}$   $\lambda = 0,000663 \frac{1}{ч}$

Интенсивность отказов энергоблока при замене наименее надежного элемента

$\lambda_{рзв} = \frac{1}{T_{р\_рзв}}$   $\lambda_{рзв} = 0,000645 \frac{1}{ч}$

Вероятность безотказной работы на момент времени 2300 ч:  $P(t) = e^{-\lambda \cdot t}$   $P(2300) = 0,218$

Вероятность безотказной работы на момент времени 2300 ч при замене наименее надежного элемента:

$P_{рзв}(t) = e^{-\lambda_{рзв} \cdot t}$   $P_{рзв}(2300) = 0,227$

Вероятность отказа

$Q(t) = 1 - P(t)$   $Q(2300) = 0,782$

Вероятность отказа при замене наименее надежного элемента

$Q_{рзв}(t) = 1 - P_{рзв}(t)$   $Q_{рзв}(2300) = 0,773$

Плотность вероятности отказов

$a(t) = \frac{d}{dt} P(t)$   $a(2300) = 1,443 \cdot 10^{-4}$

Плотность вероятности отказов при замене наименее надежного элемента

$a_{рзв}(t) = \frac{d}{dt} P_{рзв}(t)$   $a_{рзв}(2300) = 1,463 \cdot 10^{-4}$

Степень снижения вероятности отказа  $Bn(t) = \frac{Q(t)}{Q_{рзв}(t)}$

Кратность резервирования  $k = 1$

Коэффициент эффективности резервирования  $\Xi(t) = \frac{Bn(t)}{k}$   $\Xi(2300) = 1,012$

Показатели надёжности энергоблока на момент времени 2300 ч:

$B_p = \frac{P_{рзв}(2300)}{P(2300)}$   $B_p = 1,041$   $B_r = \frac{T_{р\_рзв}}{T_{р}}$   $B_r = 1,027$

$T_{р} = 1509 \cdot 10^3$  ч  $T_{в} = 45,56$  ч  $T_{р\_рзв} = 1,55 \cdot 10^3$  ч

$\lambda = 0,000663 \frac{1}{ч}$   $\lambda_{рзв} = 0,000645 \frac{1}{ч}$

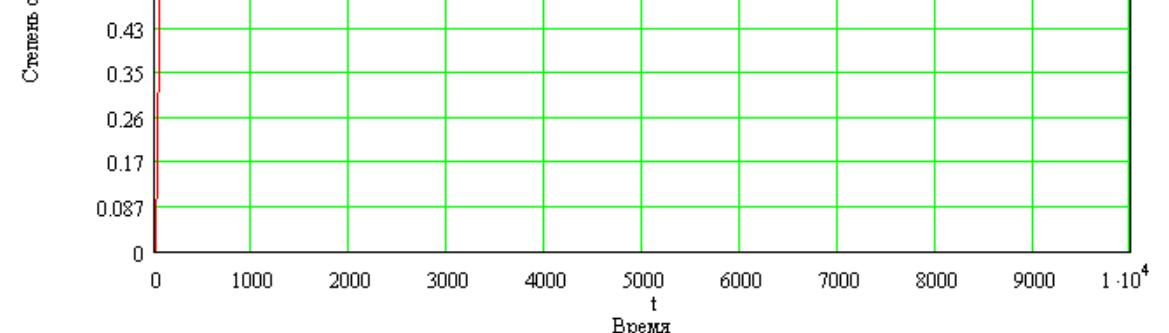
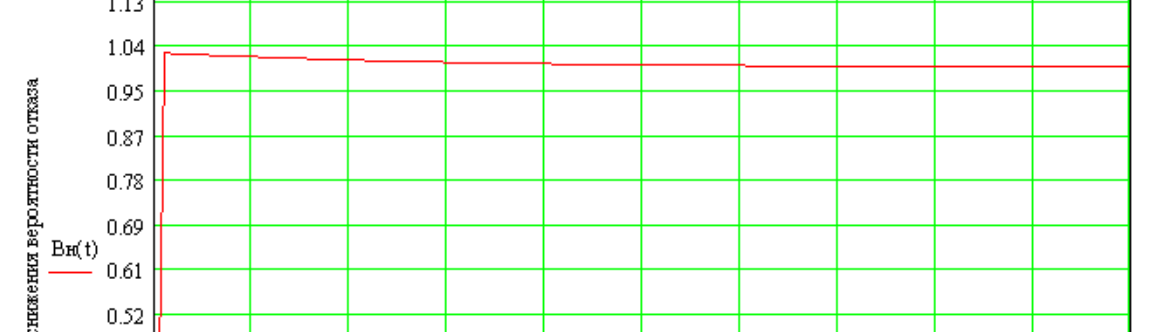
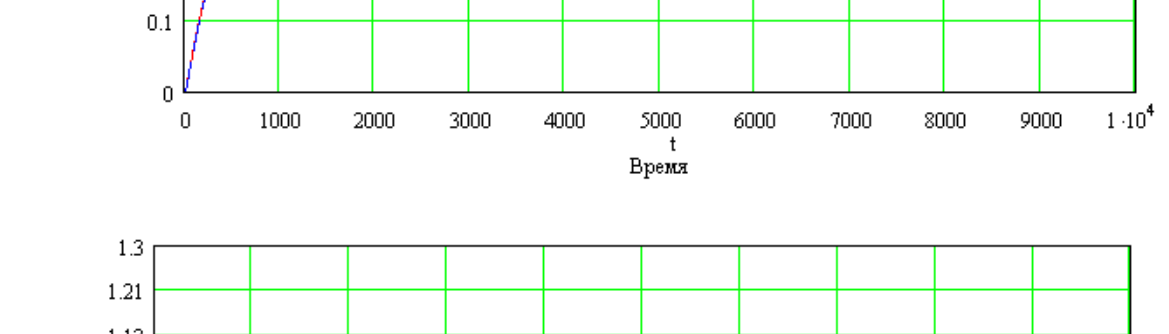
$P(2300) = 0,218$   $P_{рзв}(2300) = 0,227$

$Q(2300) = 0,782$   $Q_{рзв}(2300) = 0,773$

$a(2300) = 1,443 \cdot 10^{-4}$   $a_{рзв}(2300) = 1,463 \cdot 10^{-4}$

$Bn(2300) = 1,012$   $\Xi(2300) = 1,012$

### Зависимости для оценки результатов



Из приведенных зависимостей видно, что преимущества резервирования проявляются в начальный момент времени около 100 часов работы до значения  $P=0,9359$ .

$Bn(100) = 1,026$   $P(100) = 0,9359$   $P_{рзв}(100) = 0,9375$

## Определение основных показателей готовности

Время планово-предупредительного ремонта 20 суток

Тогда период для анализа эффективности:

$T_3 = 365 - 20$   $T_3 = 345$  суток

Коэффициент вынужденных отказов, определяющий negotовность энергоблока из-за полных вынужденных отказов, приводящих к полной остановке энергоблока:

$k_{в0} = 0,02131595$   $k_{в0} = 0,0213$

$T_{в0} = T_3 \cdot k_{в0}$   $T_{в0} = 7,354$  суток

Эквивалентный коэффициент вынужденных отказов.

Эквивалентное время частичных вынужденных отказов:

$T_{3ч0} = \frac{0,156 \cdot (100 - 98) + 0,30 \cdot (100 - 85) + 0,578 \cdot (100 - 85) + 0,195 \cdot (100 - 60) + 0,327 \cdot (100 - 60) + 0,139 \cdot 50 + 0,216 \cdot 50}{100}$

$T_{3ч0} = 0,521$

$k_{3в0} = \frac{T_{в0} + T_{3ч0}}{T_3}$   $k_{3в0} = 0,0228$

Коэффициент готовности за календарный год с учетом плановых ремонтов и полных отказов:

$k_{гг} = \frac{365 - 20 - 7,354}{365}$   $k_{гг} = 0,925$

Эквивалентный коэффициент готовности за календарный год с учетом плановых ремонтов, полных и частичных отказов:

$k_{гг3} = \frac{365 - 20 - 7,354 - 0,194}{365}$   $k_{гг3} = 0,925$

**Значения готовности для состояний подсистемы**

Подсистема	Компоненты и мощности их состояний в%			Мощность подсистемы	Готовность состояния подсистемы			
ПС-1	Сочетание из 3-х компонентов			%	-			
				100	0,97837			
				0	0,02163			К гот
ПС-2 (ТН)	2--1	2--2		%	-	ПС-1	0,97837	
	60	60		100	0,9978132	ПС-2 (ТН)	0,998906	
	60	0		60	0,0010928	ПС-3 (ДВ)	0,999479	
	0	60		60	0,0010928	ПС-4 (ДС)	0,999509	
	0	0		0	0,0010940	ПС-5 (Д)	0,999414	
ПС-3 (ДВ)	3--1	3--2	3--3	%	-	ПС-6 (КН)	0,99953	
	50	50	50	100	0,996721589	ПС-7 (ЦН)	0,999352	
	50	50	0	100	0,0005210	ПС-8 (ПН)	0,998371	
	50	0	50	100	0,0005210	ПС-9 (ПНД)	0,999096	
	0	50	50	100	0,0005210	ПС-10 (ПВД)	0,998266	
	0	0	50	50	0,0000003			
	50	0	0	50	0,0000003			
	0	50	0	50	0,0000003			
	0	0	0	0	0,0000000			
ПС-4 (ДС)	4--1	4--2	4--3	%	-			
	70	70	70	100	0,998527723	0,9641649		
	0	70	70	100	0,0004910	0,9641649	значение А	
	70	70	0	100	0,0004910			
	70	0	70	100	0,0004910	0,02131595	готовность при ПС1=0 %	
	0	0	70	70	0,0000002			
	70	0	0	70	0,0000002			
	0	70	0	70	0,0000002			
	0	0	0	0	0,0000000			
ПС-5 (Д)	5--1	5--2	-	%	-			Готовность состояния блока
	60	60		100	0,9988283		0,00045416	98%
	0	60		60	0,0005857		0,00087239	85%
	60	0		60	0,0005857		2,3278E-07	70%
	0	0		0	0,0005860		0,00105595	60%
ПС-6 (КН)	6--1	6--2	-	%	-		2,6257E-07	50%
	98	98		100	0,9990602		0,02163	0%
	0	98		98	0,0004698		0,15668454	
	98	0		98	0,0004698		0,30097583	
	0	0		0	0,0004700		8,0311E-05	
ПС-7 (ЦН)	7--1	7--2	-	%	-		0,36430331	
	50	50		100	0,9987044		9,0588E-05	
	50	0		50	0,0006476		7,46235	
	0	50		50	0,0006476			
	0	0		0	0,0006480			
ПС-8 (ПН)	8--1	-	-	%	-			
	100			100	0,9983710			
	0			0	0,0016290			
ПС-9 (ПНД)	9--1	-	-	%	-			
	100			100	0,999096			
	85			85	0,000904			
ПС-10 (ПВД)	10--1	-	-	%	-			
	100			100	0,998266			
	85			85	0,001734			
				1,0000000				

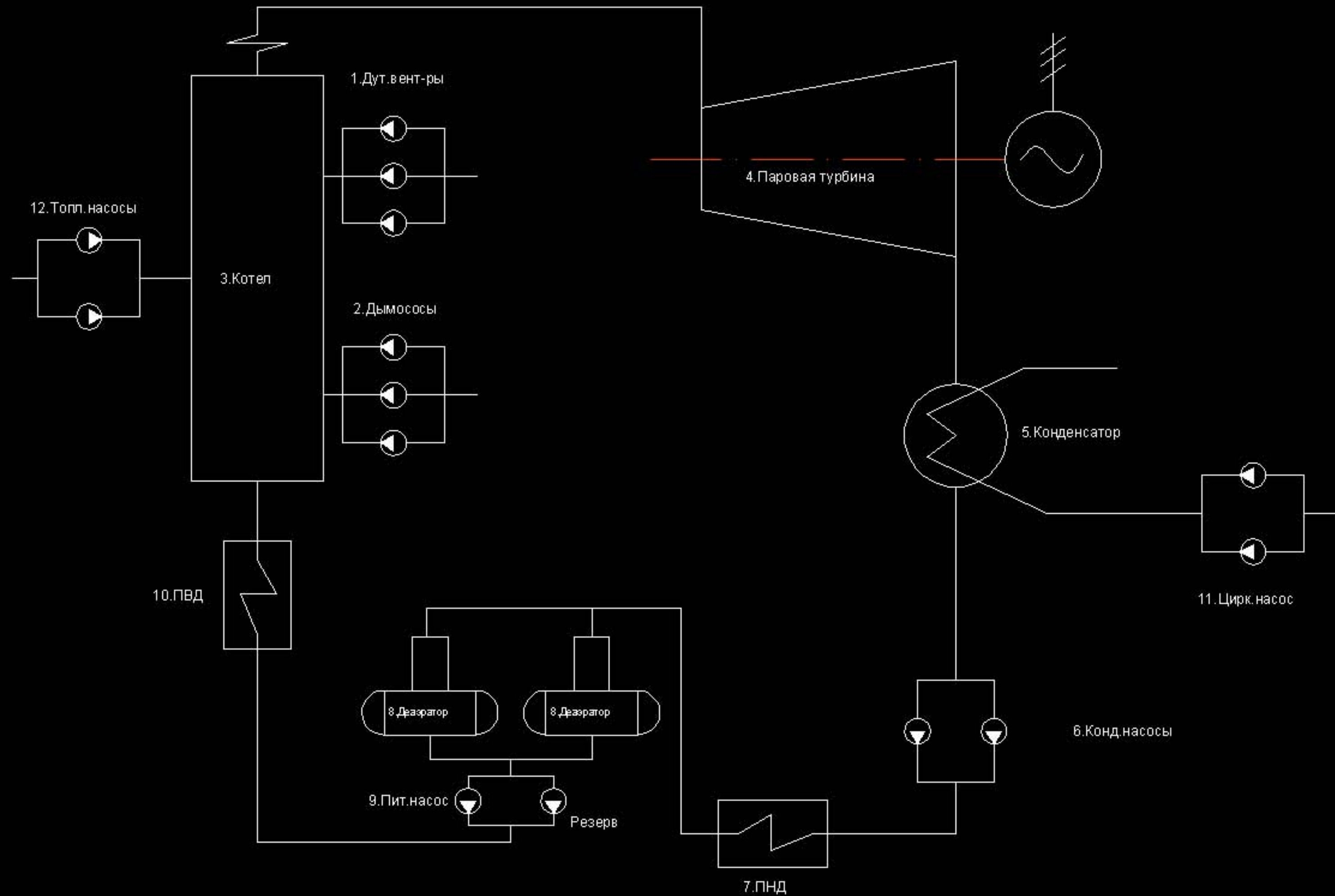
### Расчет готовности энергоблока

Состояние мощности в % подсистем										Мощность состояния блока %	Готовность состояния блока
ПС-1	ПС-2 (ТН)	ПС-3 (ДВ)	ПС-4 (ДС)	ПС-5 (Д)	ПС-6 (КН)	ПС-7 (ЦН)	ПС-8 (ПН)	ПС-9 (ПНД)	ПС-10 (ПВД)		
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,964164901
100	100	100	100	100	98	100	100	100	100	98	0,000453371
100	100	100	100	100	100	100	100	85	100	85	0,000872394
100	100	100	100	100	100	100	100	100	85	85	0,001674766
100	100	100	70	100	100	100	100	100	100	70	0,000000233
100	100	100	100	60	100	100	100	100	100	60	0,000565332
100	60	100	100	100	100	100	100	100	100	60	0,000948206
100	100	50	100	100	100	100	100	100	100	50	0,000503982
100	100	100	100	100	100	50	100	100	100	50	0,000625184
100	100	100	100	100	100	100	0	100	100	0	0,001573187
100	100	100	100	100	100	0	100	100	100	0	0,000625589
100	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0	0,000453584
100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	0	0,000565663
100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	0	0,000000000
100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	0	0,000000000
100	0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0,001057108
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0,021315951
сумма											0,995399451

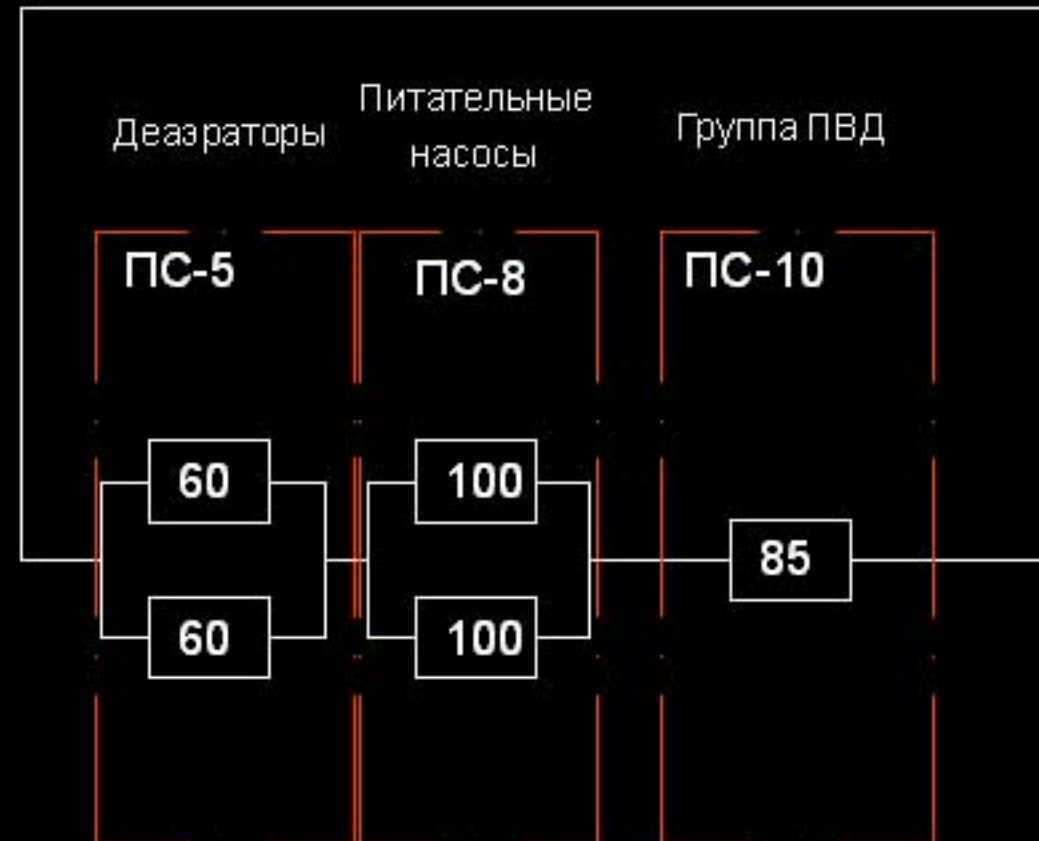
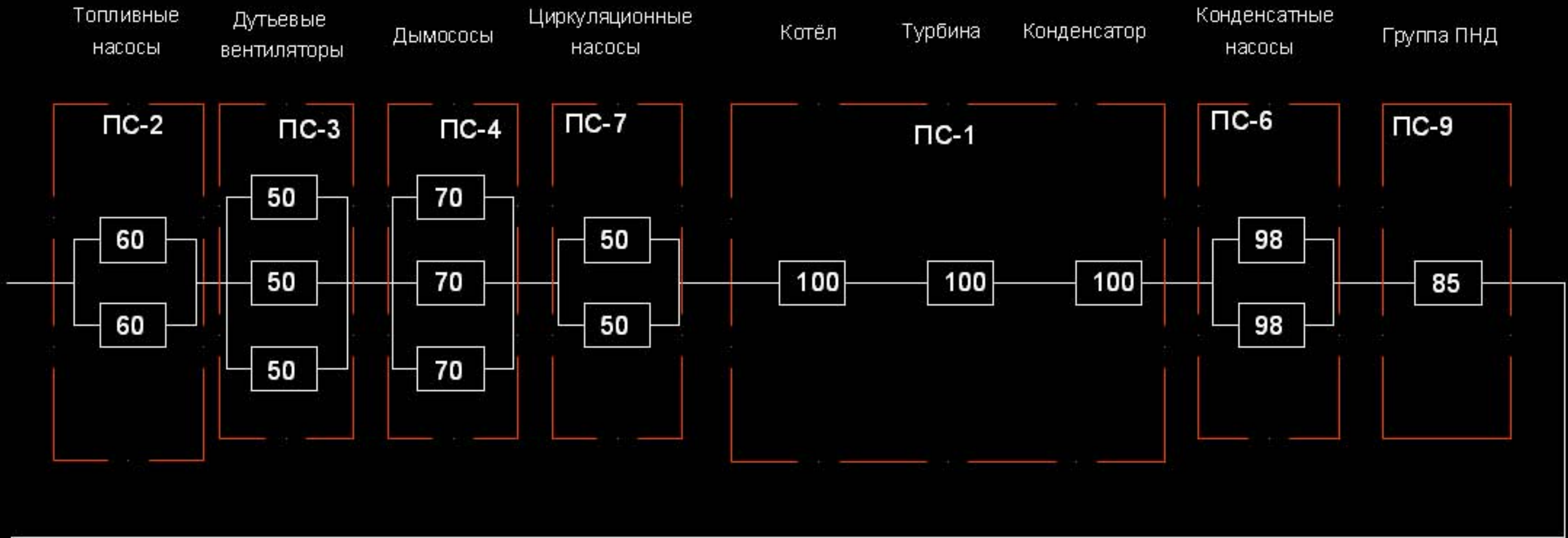
### Готовность и продолжительность различных состояний

Номер состояния	Готовность состояния	Мощность состояния %	Продолжительность состояния, сут
1	0,964164901	100	332,6368907
2	0,000453371	98	0,156412853
3	0,000872394	85	0,300975831
4	0,001674766	85	0,577794264
5	2,32786E-07	70	8,03107E-05
6	0,000565332	60	0,195039511
7	0,000948206	60	0,327131054
8	0,000503982	50	0,17387385
9	0,000625184	50	0,215688471
10	0,021315951	0	7,354003032
	0,991124319		341,9378899

# Рис1.Схема гипотетического энергоблока



# Рис2. Компонентная схема энергоблока



# Рис3. "Дерево отказов" системы

