Практическое занятие

**Методы повышения надежности.
Резервирование сложных ХТС.**

Рассмотрим сложную химико-технологическую систему (ХТС) на примере насосного оборудования магистрального трубопровода.

Пусть насосное оборудование трубопровода описывается структурно-логической схемой, представленной на рисунке 1.

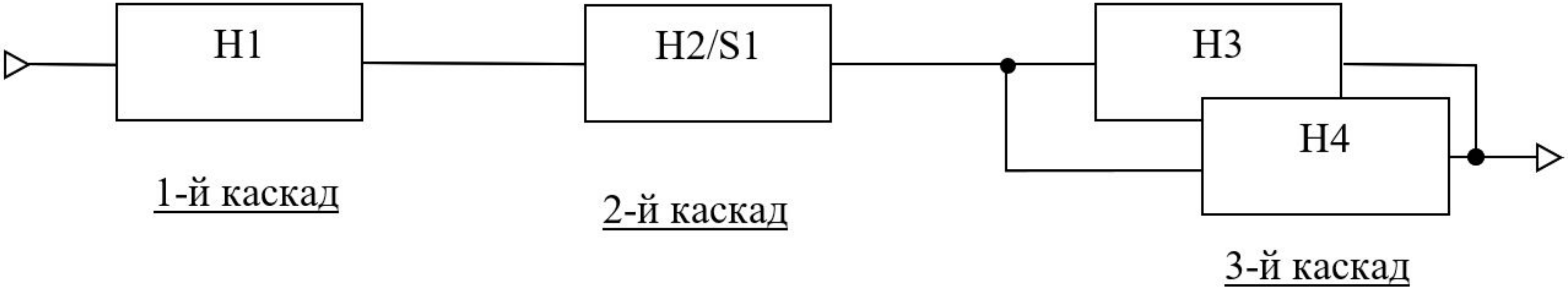

Рис.1 Структурно-логическая схема соединения насосов на магистральном трубопроводе.

Как видно из рисунка, ХТС состоит из трех каскадов насосных систем. Обозначим насосы, входящие в ХТС: 1-й каскад (Н1), 2-й каскад (Н2), 3-й каскад (Н3, Н4). Насос Н4 находится в постоянно включенном (т.е. горячем) резерве с насосом Н3. Характеристика насосов ХТС представлена в табл.1.

Данная система используется в течение двух лет $t_{2\ \text{года}}$, с момента ввода в эксплуатацию. Через год после начала эксплуатации, была выполнена плановая модернизация, заключающаяся в замене нагнетателя Н2 на систему S1, которая в общей сложности отработала в системе один год $t_{1\ \text{год}}$.

Табл.1

Насосы	Проектная мощность (кВт)	Интенсивность отказа насоса $\lambda_{0_i} \cdot 10^{-3}$ (1/час)
Н1	5	0,012
Н2	6	0,018
Н3	3	0,043
Н4	3	0,043

Постановка задачи:

Рассчитать вероятность безотказной работы системы ХТС- $P_{\text{ХТС}}(t)$ *до модернизации и после модернизации* оборудования системы, приращение надежности системы за счет проведенной модернизации. Построить график изменения $P_{\text{ХТС}}(t)$ за время ее эксплуатации и график изменения приращения надежности в течение года (выбрать 6 контрольных точек в течение года).

Вероятность безотказной работы ХТС до модернизации может быть рассчитана по формуле

$$P_{\text{хтс}}(t) = P_{H_1}(t_{1\,\text{год}}) \cdot P_{H_2}(t_{1\,\text{год}}) \cdot \left[1 - \left(1 - P_{H_3}(t_{1\,\text{год}})\right) \cdot \left(1 - P_{H_4}(t_{1\,\text{год}})\right)\right] \qquad (1.1.)$$

После модернизации

$$P_{\text{хтс}}(t) = P_{H_1}(t_{2\,\text{года}}) \cdot P_{S1}(t_{1\,\text{год}}) \cdot \left[1 - \left(1 - P_{H_3}(t_{2\,\text{года}})\right) \cdot \left(1 - P_{H_4}(t_{2\,\text{года}})\right)\right]$$

При расчете вероятности безотказной работы ХТС после модернизации, требуется учесть изменение надежности ХТС. Для этого оценим надежность 2-го каскада ХТС при условии замены насоса Н2 на систему *S1* при выбранном алгоритме ее работы. Для расчетов предлагается использовать экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы элементов ХТС.

Система *S1* конструктивно состоит из трех однотипных насосов, характеристика которых представлена в табл.2., и может быть изображена в виде структурно-логической схемы их соединения, рис.2. Надежность системы коммутации насосов и систему их управления при расчетах допускаем близкой к 1.

Табл.2

Нагнетатели	Проектная мощность каждого насоса (кВт)	Интенсивность отказа насоса $\lambda_{0_i} \cdot 10^{-3}$ (1/час)
S1.1	3	0,045
S1.2		
S1.3		

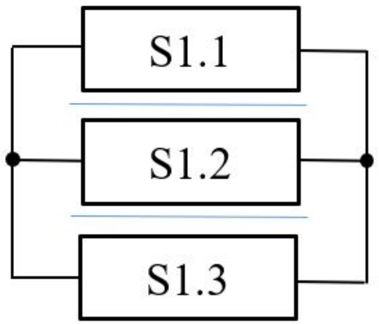

Рис.2 Структурно-логическая схема соединения насосов в системе *S1*.

Для обеспечения необходимой производительности *S1* в ХТС результирующая мощность работы насосов на каждом каскаде должна быть не меньше 5 кВт.

Следовательно, наиболее предпочтительным алгоритмом работы установки, для обеспечения данного требования, будет схема работы по принципу р<u>езервирования с дробной кратностью и постоянно включенным резервом.</u>

Такое резервирование предполагает, что резервированная система состоит из l отдельных однотипных элементов (рис. 3.).

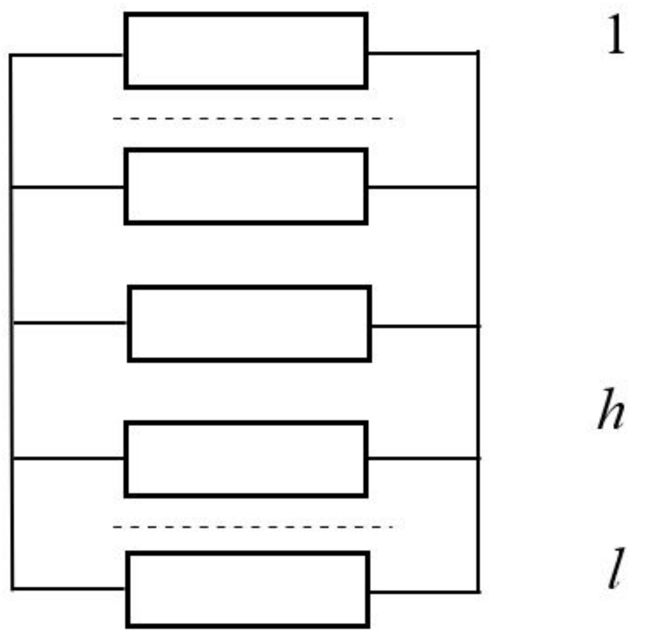

Рис.3 Схема резервирования с дробной кратностью и постоянно включенным резервом.

Для ее нормальной работы необходимо, чтобы исправными были не менее чем любых h элементов, входящих в ее состав. Кратность резервирования такой системы равна

$$m = \frac{l - h}{h}$$

Под кратностью резервирования (m) понимается отношение числа резервных изделий к числу резервируемых (основных). Предполагается, что основные и все резервные элементы системы *равнонадежны*. Вероятность безотказной работы резервированной системы $P_c(t)$ может быть задана формулой:

$$P_c(t) = \sum_{i=0}^{l-h} C_l^i \, P_0^{l-i}(t) \sum_{j=0}^{i} (-1)^j C_i^j \, P_0^j(t), \qquad (1.2.)$$

где

$$C_l^i = \frac{l!}{i!\,(l-i)!} \qquad (1.3.)$$

число сочетаний *i* элементов из *l*.

$$P_c(t) = \sum_{i=0}^{l-h} C_l^i \, P_0^{l-i}(t) \sum_{j=0}^{i} (-1)^j C_i^j \, P_0^j(t), \qquad (1.2.)$$

В формуле (1.2.) $P_o(t)$ - вероятность безотказной работы основного элемента системы или любого резервного элемента; l - общее число основных и резервных элементов; h -число элементов, необходимых для нормальной работы системы по установленному алгоритму.

Если принять λ_o за интенсивность отказов любого из элементов системы, тогда для отдельно взятого элемента справедлив экспоненциальный закон надежности, т.е.

$$P_0(t) = e^{-\lambda_0 t} \qquad (1.4.)$$

Формулы для определения надежности в случае общего резервирования с дробной кратностью и постоянно включенным резервом (предполагается, что основные и все резервные системы равнонадежны).

n	$n+m$				
	1	2	3	4	5
1	p	$2p-p^2$	-	-	-
2	-	p^2	$3p^2-2p^3$	$6p^2-8p^3+3p^4$	$10p-20p^3+15p^4-4p^3$
3	-	-	p^3	$4p^3-3p^4$	$10p^3-15p^4+6p^5$
4	-	-	-	p^4	$5p^4-4p^5$

p - вероятность безотказной работы основной системы или любой резервной системы

Решение типовой задачи для системы резервирования с дробной кратностью и постоянно включенным резервом.

Система электроснабжения блока состоит из четырех генераторов, номинальная мощность каждого из которых 18 кВт. Безаварийная работа блока еще возможна, если система электроснабжения может обеспечивать потребителя мощностью 30 кВт. Необходимо определить вероятность безотказной работы системы энергоснабжения в течение времени $t = 600$ *час*, среднее время безотказной работы $T_{б.р.}$, частоту отказов $f_c(t)$, интенсивность отказов $\lambda_c(t)$ системы энергоснабжения, если интенсивность отказов каждого из генераторов $\lambda_0 = 0{,}15 \cdot 10^{-3}$ *1/час*.

Решение. Мощности двух генераторов достаточно для питания блока, так как их суммарная мощность составляет 36 кВт. Это означает, что отказ системы электроснабжения еще не наступит, если откажут один или два любых генератора, т.е. имеет место случай резервирования с дробной кратностью $m = 2/2$ при общем числе генераторов, равном 4. На основании формулы (1.2) имеем

$$P_c(t) = \sum_{i=0}^{2} C_4^i P_0^{4-i}(t) \sum_{j=0}^{i} (-1)^j C_i^j P_0^j(t) =$$

$$C_4^0 P_0^4(t) C_0^0 P_0^0(t) + C_4^1 P_0^3(t) \cdot [C_1^0 P_0^0(t) - C_1^1 P_0^1(t)] +$$

$$C_4^2 P_0^2(t) \cdot [C_2^0 P_0^0(t) - C_2^1 P_0^1(t) + C_2^2 P_0^2(t)].$$

Так как

$C_4^0=1;\ C_0^0=1;\ C_4^1=4;\ C_1^0=1;\ C_1^1=1;\ C_4^2=6;\ C_2^0=1;\ C_2^1=2;\ C_2^2=1,$

то

$$P_c(t)=6P_0^2(t)-8P_0^3(t)+3P_0^4(t).$$

Так как

$$P_0(t)=e^{-\lambda_0 t},$$

то

$$P_c(t)=6e^{-2\lambda_0 t}-8e^{-3\lambda_0 t}+3e^{-4\lambda_0 t}.$$

Для данных нашей задачи $\lambda_0 t = 0{,}15 \cdot 10^{-3} \cdot 600 = 0{,}09$. Тогда

$$P_c(600)=0{,}9976.$$

Содержание отчета по занятию

1. Структурно-логические схемы используемые для расчетов значений показателей надежности ХТС.
2. Расчетная часть.
3. Анализ результатов расчетов (выводы).