

## ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Докт. техн. наук, проф. **КАРНИЦКИЙ Н. Б.**

*Белорусский национальный технический университет*

**Инж. ШИЧКО С. Н.**

*Минская ТЭЦ-5*

Рассмотрим тепломеханическую схему энергоблока с позиции структурной надежности. На готовность системы или вероятность ее работоспособного состояния влияют индивидуальные характеристики каждого из составляющих элементов. При изучении важности элемента необходимо установить, как изменяется коэффициент готовности системы при изменении готовности отдельного элемента и какие элементы с наибольшей вероятностью влияют на отказ системы [1]. Важность по Бирнабауму ( $B$  – важность элемента) показывает, во сколько раз увеличивается коэффициент готовности системы при повышении готовности элемента. Для последовательной системы наибольшую важность имеет элемент с наименьшим коэффициентом готовности. Для параллельной системы элемент с наибольшим коэффициентом готовности имеет большее влияние на коэффициент готовности системы

$$B = \frac{\Delta K_{gi}}{\Delta K_r},$$

где  $\Delta K_{gi}$  – изменение коэффициента готовности  $i$ -го элемента;  $\Delta K_r$  – то же готовности системы.

Определим важность оборудования, входящего в состав энергоблока. Поочередно будем изменять коэффициенты готовности либо параметр потока отказов однотипных агрегатов, фиксируя коэффициенты готовности остальных агрегатов.

Рассмотрим энергоблок с принципиальной тепловой схемой и данными средней наработки на отказ и среднего времени восстановления, идентичными гипотетическому энергоблоку, исследованному в [2]. Для численного эксперимента рассмотрим относительные изменения наработки на отказ каждого элемента тепловой схемы в диапазоне  $[-50\text{--}50\%]$   $K_{г.ном}$ , где номинальный коэффициент готовности  $K_{г.ном}$  соответствует значениям, заданным в [2].

В табл. 1 подогреватели низкого давления (ПНД) представлены в виде одного подогревателя без резерва. Однако ПНД в тепловых схемах имеют индивидуальные обводы в отличие от подогревателей высокого давления ПВД. Поэтому под отказом ПНД будем понимать событие, связанное с нарушением работы в системе регенерации низкого давления, которое влечет за собой останов энергоблока (либо турбоустановки в случае анализа станции с поперечными связями). К такому событию можно отнести разрыв трубопровода на линии основного конденсата, паропровода на подводе пара к подогревателю, выход из строя конденсатора пара уплотнений и т. д.

Таблица 1

## Численные характеристики безотказности элементов энергоблока

Агрегат	$T_в$	$0,5T_0$	$0,6T_0$	$0,7T_0$	$0,8T_0$	$0,9T_0$	$1T_0$	$1,1T_0$	$1,2T_0$	$1,3T_0$	$1,4T_0$	$1,5T_0$
Котел	70	1050	1260	1470	1680	1890	2100	2310	2520	2730	2940	3150
Паровая турбина	60	2150	2580	3010	3440	3870	4300	4730	5160	5590	6020	6450
Электрогенератор	55	7500	9000	10500	12000	13500	15000	16500	18000	19500	21000	22500
Конденсатор	25	7000	8400	9800	11200	12600	14000	15400	16800	18200	19600	21000
Деаэратор	25	22500	27000	31500	36000	40500	45000	49500	54000	58500	63000	67500
Подогреватели низкого давления (ПНД)	10	7000	8400	9800	11200	12600	14000	15400	16800	18200	19600	21000
Подогреватели высокого давления (ПВД)	25	3250	3900	4550	5200	5850	6500	7150	7800	8450	9100	3150

Таблица 2

## Зависимость коэффициентов готовности элементов энергоблока от их безотказности

Агрегат	$0,5T_0$	$0,6T_0$	$0,7T_0$	$0,8T_0$	$0,9T_0$	$1T_0$	$1,1T_0$	$1,2T_0$	$1,3T_0$	$1,4T_0$	$1,5T_0$
Котел	0,9375	0,9474	0,9545	0,9600	0,9643	0,9677	0,9706	0,9730	0,9750	0,9767	0,9783
Паровая турбина	0,9729	0,9773	0,9805	0,9829	0,9847	0,9862	0,9875	0,9885	0,9894	0,9901	0,9908
Электрогенератор	0,9908	0,9923	0,9934	0,9942	0,9948	0,9954	0,9958	0,9961	0,9964	0,9967	0,9969
Конденсатор	0,9964	0,9970	0,9975	0,9978	0,9980	0,9982	0,9984	0,9985	0,9986	0,9987	0,9988
Деаэратор	0,9969	0,9974	0,9978	0,9981	0,9983	0,9984	0,9986	0,9987	0,9988	0,9989	0,9990
Подогреватели низкого давления (ПНД)	0,9986	0,9988	0,9990	0,9991	0,9992	0,9993	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
Подогреватели высокого давления (ПВД)	0,9789	0,9824	0,9848	0,9867	0,9882	0,9893	0,9903	0,9911	0,9918	0,9924	0,9929

Таблица 3

Зависимость коэффициентов готовности энергоблока от безотказности элементов

Агрегат	$0,5T_0$	$0,6T_0$	$0,7T_0$	$0,8T_0$	$0,9T_0$	$1T_0$	$1,1T_0$	$1,2T_0$	$1,3T_0$	$1,4T_0$	$1,5T_0$
Котел	0,90711	0,91822	0,92616	0,93211	0,93674	0,94044	0,94348	0,946	0,94814	0,94997	0,90711
Паровая турбина	0,92649	0,93114	0,93446	0,93696	0,93889	0,94044	0,94171	0,94277	0,94366	0,94443	0,92649
Электродгенератор	0,93678	0,93800	0,93887	0,93953	0,94004	0,94044	0,94078	0,94106	0,94129	0,94149	0,93678
Конденсатор	0,93866	0,93925	0,93968	0,94000	0,94025	0,94044	0,94061	0,94074	0,94086	0,94096	0,93866
Деаэратор	0,93989	0,94007	0,94021	0,94031	0,94038	0,94044	0,9405	0,94054	0,94057	0,9406	0,93989
Подогреватели низкого давления	0,93973	0,93997	0,94014	0,94027	0,94037	0,94044	0,94051	0,94056	0,94061	0,94065	0,93973
Подогреватели высокого давления	0,9366	0,93788	0,9388	0,93948	0,94002	0,94044	0,94079	0,94109	0,94133	0,94154	0,93660

$$K(x, y, z) := \left\{ \begin{array}{l} L2 \leftarrow 1 - \frac{1}{y^{(0)}} \cdot y^{(1)} \\ \text{for } i \in 0.. \frac{\text{cols}(x)}{2} - 1 \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} L \leftarrow \text{stack} \left[ \text{submatrix}(y, 0, z - 1, 0, \text{cols}(y) - 1), \text{submatrix}(y, z + 1, \text{rows}(y) - 1, 0, \text{cols}(y) - 1), \text{augment} \left[ x^{(2i)}, (x)^{(1+2i)} \right] \right] \\ L1 \leftarrow 1 - \frac{1}{L^{(0)}} \cdot L^{(1)} \\ L2 \leftarrow \text{augment}(L2, L1) \end{array} \right. \\ \text{submatrix}(L2, 0, 0, 1, \text{cols}(L2) - 1) \end{array} \right.$$

Рис. 1

Несмотря на определенную условность приведенных данных по наработке на отказ, соотношение между наработкой на отказ выбрано с учетом реального распределения наработок на действующих энергетических установках.

Численные данные наработки на отказ и коэффициенты готовности отдельных агрегатов приведены в табл. 1 и 2. Изменения готовности энергоблока в зависимости от изменения готовности элементов, включенных в его технологическую схему, представлены в табл. 3.

Для удобства расчетов разработан программный модуль (рис. 1) в среде MATHCAD  $K(x, y, z)$ , где  $x$  – переменная показателей среднего времени восстановления матрицы  $y$ ;  $z$  – номер строки матрицы  $y$ , в котором записаны данные средней наработки на отказ и среднего времени восстановления соответствующего агрегата.

На рис. 2, 3 представлена зависимость коэффициента готовности энергоблока от изменения показателя наработки на отказ агрегатов, входящих в его состав. За интервал времени взята наработка элементов гипотетического энергоблока, а по оси абсцисс приведены удельные показатели наработки на отказ по отношению к номинальной.

По совмещенным графикам можно определить степень важности каждого элемента. Так, снижение или увеличение безотказности котлоагрегата для данного блока на 10 % оказывает большее влияние, чем изменение безотказности на 50 % любого вспомогательного оборудования.

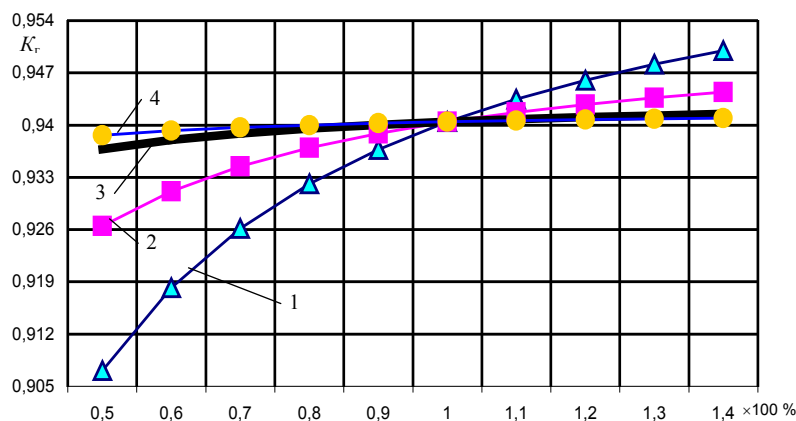


Рис. 2. 1 – котел; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – конденсатор;

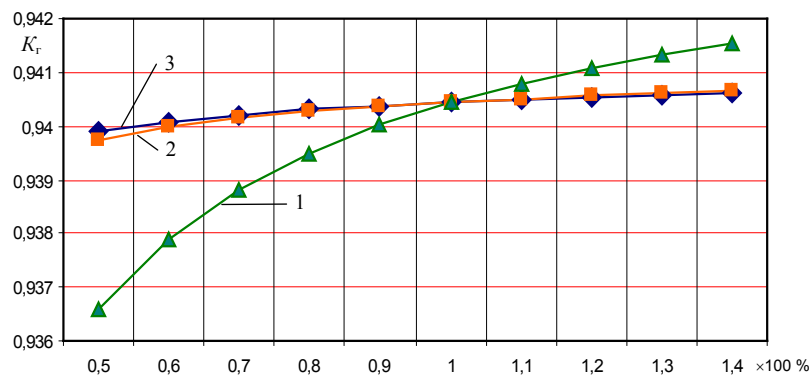


Рис. 3. 1 – ПВД; 2 – ПНД; 3 – деаэратор

Приведенный модуль позволяет производить операции над исходной матрицей  $y$ , заменяя в ней данные безотказности и ремонтпригодности соответствующего элемента матрицы  $x$ .

### ВЫВОДЫ

1. В основу алгоритма положен принцип формирования новой расчетной матрицы, определяющей состояние подсистемы, путем синтеза основной матрицы и аналитической, где исследователь может задавать прогнозируемые данные, отличные от результатов, полученных экспериментально.

2. Выявленные соотношения позволяют оценить степень важности каждого агрегата в формировании надежности энергоблока. В соответствии с численными данными, приведенными в работе, наибольшее влияние на надежность энергоблока оказывает безотказность котлоагрегата.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Б а й х е л ь т, Ф. Надежность и техническое обслуживание: математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен; пер. с нем. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.

2. К а р н и ц к и й, Н. Б. Инженерные методы расчета показателей надежности оборудования ТЭС / Н. Б. Карницкий, С. Н. Шичко // Вестник БНТУ. – 2004. – № 4. – С. 56–59.

Представлена кафедрой  
тепловых электрических станций

Поступила 7.07.2006

УДК 621.186.2.001.24

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ В ЗОНЕ ОХВАТА ЦЕНТРАЛЬНЫМ ТЕПЛОВЫМ ПУНКТОМ

Докт. техн. наук БАЙРАШЕВСКИЙ Б. А., инж. БОРУШКО Н. П.

РУП «БЕЛТЭИ»

Длительный опыт эксплуатации систем теплоснабжения показывает, что вопросы адекватного распределения теплоты по отдельным потребителям требуют дальнейшего изучения. В данном случае имеется в виду разная способность отапливаемых зданий сохранять переданную им теплоту как в стационарных условиях, так и в случае кратковременного отключения теплосети. Сведения о тепловых потерях зданий, эксплуатируемых в настоящее время, находятся на уровне проектных и расчетных показателей. Они не всегда отражают реальную действительность. Между тем каждое здание имеет свои теплотехнические характеристики и способно с разной степенью полноты использовать установленные параметры теплоносителя, поступающего от центрального теплового пункта (ЦТП).

На схемах к табл. 1, 2 показана система теплоснабжения однотипной группы отапливаемых зданий от ЦТП. Как видно, температура прямой сетевой воды на выходе из ЦТП для всех домов одинакова ( $t_{цнд}^п = t_{ц}^п$ ;  $t_{цнд}^п = t_{ц}^п$ ), а обратной воды на возврате в ЦТП ( $t_{ц}^о$  и  $t_{ц}^о$ ) оказывается