

УДК 621.019

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПАРОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК ГРЭС

ФАРХАДЗАДЕ Э.М., МУРАДАЛИЕВ А.З., РАФИЕВА Т.К., НАЗИРОВА У.К.

АзНИПИИ Энергетики

Приводятся методика расчета показателей индивидуальной надежности паротурбинных установок блочных тепловых электростанций и некоторые результаты их количественной оценки.

Улучшение технического состояния паротурбинных установок энергоблоков (ПТУ ЭБ) является одной из важных задач проблемы обеспечения надежной работы ГРЭС [1]. Отказы ПТУ являются не только основной причиной внезапных отключений ЭБ, но в ряде случаев и основной причиной отключения ЭБ по аварийной заявке. В этой связи, значительный интерес представляет возможность количественной оценки показателей таких свойств надежности ПТУ, как безотказность, ремонтпригодность, сохраняемость и долговечность. Эти показатели необходимо рассматривать как индикаторы соответствия системы контроля технического состояния и восстановления износа предъявляемым требованиям. Методика оценки показателей долговечности приведена в [2].

Ниже приводится методика расчета показателей безотказности, ремонтпригодности и сохраняемости и некоторые результаты их количественной оценки. Основным источником информации являются диспетчерские журналы ГРЭС.

1. Показатели надежности ПТУ ЭБ ГРЭС.

1.1. Показатели безотказности.

1.1.1. Удельное число внезапных отказов ПТУ ЭБ. Вычисляется по формуле:

$$\lambda_{\text{вн},T}^* = 8760 \frac{\sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m n_{\text{вн},j,i}^T}{\sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m \tau_{p,j,i}^\Sigma} = 8760 \frac{N_{\text{вн}}^T}{T_p} \quad (1)$$

где: n_B - число ЭБ;

m - число лет наблюдения;

$n_{\text{вн},j,i}^T$ - число случаев аварийного ремонта j -го ЭБ в i -ом году, вызванного внезапным отказом ПТУ;

$\tau_{p,j,i}^\Sigma$ - суммарная длительность рабочего состояния j -го ЭБ в i -ом году (в ч.);

$$N_{\text{вн}}^T = \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m n_{\text{вн},j,i}^T ; \quad T_p = \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m \tau_{p,j,i}^\Sigma$$

Формула (1) позволяет рассчитать $\lambda_{\text{вн},T}^*$ для «усредненного» ЭБ. Этот показатель используется для сравнительной оценки безотказности отдельных ЭБ, для которых $n_B=1$. Анализ показывает, что $\lambda_{\text{вн},T}^*$ имеет определенное преимущество перед одним из наиболее часто используемых показателей безотказности – параметром потока отказов. Параметр потока внезапных отказов ЭБ, обусловленных отказом ПТУ, вычисляется по формуле:

$$h_{\text{вн},T}^* = 8760 \frac{\sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m n_{\text{вн},j,i}^T}{\left(\sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m \tau_{p,j,i}^\Sigma + \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m \tau_{\text{вн},T,j,i}^\Sigma \right)} = 8760 \frac{N_{\text{вн}}^T}{(T_p + T_{\text{вн},T})} \quad (2)$$

где: $\tau_{вн,Т,j,i}^{\Sigma}$ - суммарная длительность (в ч.) аварийных ремонтов при внезапных отключениях j - го ЭБ в i - ом году, обусловленных отказами ПТУ;

$$\tau_{вн,Т,j,i}^{\Sigma} = \sum_{v=1}^{n_{вн,j,i}^T} \tau_{вн,Т,j,i,v}; \quad T_{вн,Т} = \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m \tau_{вн,Т,j,i}^{\Sigma}$$

Этот показатель неприемлем при расчетах ПН схем, в частности, для оценки параметра потока отказов ЭБ по параметрам потока отказов оборудования и устройств (элементов) ЭБ. Действительно, рассчитываемый по формуле, аналогичной (2), $h_{вн,Б}^*$ не равен сумме параметра потока отказов элементов ЭБ, вычисляемой по формуле:

$$\sum_{j=1}^{M_{эл}} h_{вн,j}^* = \sum_{j=1}^{M_{эл}} \frac{8760 \sum_{i=1}^m n_{вн,i}^j}{T_p + T_{вн,j}}; \quad (3)$$

где: $M_{эл}$ - число элементов ЭБ (котел, турбина, генератор и т.д.);

$T_{вн,j}$ - суммарная длительность аварийных ремонтов ЭБ, вызванных отказом j -го элемента.

Именно различие значений $T_{вн,j}$ для элементов $j=1, M_{эл}$ обуславливает неравенство $h_{вн,Б}^*$ и величины, рассчитываемой по формуле (3).

К преимуществам $\lambda_{вн,Т}^*$ относится:

- $\lambda_{вн,Т}^*$, может быть с успехом использован не только для сопоставления надежности ПТУ энергоблоков, но и для применения поэлементного метода расчета величины $\lambda_{вн,Б}^*$, т.к.

$$\lambda_{вн,Б}^* = \sum_{j=1}^{M_{эл}} \lambda_{вн,j}^*;$$

- величина $h_{вн,Т}^*$ не отвечает своему классическому пониманию. Интервал времени между внезапными отказами прерывается множеством других состояний ЭБ (холодный резерв, аварийный ремонт по аварийной заявке и при повторном отказе, плановые ремонты и пр.), в течение которых в той или иной степени проводится восстановление износа ПТУ. Формально правильный учет в формуле (2) $T_{вн,Т}$ не отражает реальный процесс функционирования ПТУ.

В ряде случаев, безотказность ПТУ оценивается по формуле

$$\lambda_{ср,вн,Т}^* = \frac{8760 \sum_{j=1}^{n_B} n_{вн,j}(\Delta T)}{n_B \Delta T}$$

где ΔT - период наблюдения (час.)

$n_{вн,j}(\Delta T)$ - число внезапных отказов j- го ЭБ вследствие отказов ПТУ в интервале времени ΔT

При этом не учитывается длительность нерабочих состояний ЭБ и, по сути, представляет среднее число внезапных отказов в год. Если учесть, что относительная длительность рабочих состояний ЭБ (δT_p) равна $\delta T_p = T_p / \Delta T$, то

$$\lambda_{вн,Т}^* = \lambda_{ср,вн,Т}^* / \delta T_p$$

1.1.2. Относительная часть внезапных отключений ЭБ, обусловленная отказами ПТУ. Вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{вн},T}^* = 10^2 \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m n_{\text{вн},j,i}^T / \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m n_{\text{вн},j,i}^B = \lambda_{\text{вн},T}^* / \lambda_{\text{вн},B}^* \quad (4)$$

Этот показатель предназначен для оценки значимости внезапных отключений ПТУ ЭБ. Внезапные отключения ЭБ приводят к использованию аварийного резерва мощности ГРЭС и энергосистемы. Выявление и устранение причин их возникновения относится к основным задачам повышения надежности ЭБ. Оценка значимости отдельных элементов (узлов) ПТУ в возникновении внезапных отказов проводится по формуле:

$$Q_{\text{вн},T,Y}^* = 10^2 \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m \sum_{v=1}^{n_Y} n_{\text{вн},j,i,v}^{T,Y} / \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m n_{\text{вн},j,i}^T \quad (4a)$$

где: n_Y - число узлов турбины;

$n_{\text{вн},j,i,v}^{T,Y}$ - число внезапных отказов v -го узла ПТУ j -го ЭБ в i -ом году.

1.1.3. Удельное число отключений ЭБ по аварийной заявке, вызванных отказами ПТУ. Вычисляется по формуле:

$$\lambda_{\text{ав.з},T}^* = 8760 \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m n_{\text{ав.з},j,i}^T / T_p = 8760 N_{\text{ав.з},T} / T_p \quad (5)$$

где: $n_{\text{ав.з},j,i}^T$ - число отключений j -го ЭБ по аварийной заявке в i -ом году, вызванное отказом ПТУ.

$$N_{\text{ав.з},T} = \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m n_{\text{ав.з},j,i}^T$$

Показатель $\lambda_{\text{ав.з},T}^*$ характеризует техническую возможность выявления предельно-допустимого износа по результатам непрерывного контроля технологических параметров или по результатам технологических испытаний. Чем больше $\lambda_{\text{ав.з},T}^*$, тем техническое состояние ПТУ хуже.

1.1.4. Относительная часть аварийных ремонтов ПТУ, выполняемых при отключении ЭБ по аварийной заявке:

$$Q_{\text{ав.з},T}^* = 10^2 \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m n_{\text{ав.з},j,i}^T / \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m n_{\text{ав.з},j,i}^B = \lambda_{\text{ав.з},T}^* / \lambda_{\text{ав.з},B}^* \quad (6)$$

Чем больше $Q_{\text{ав.з},T}^*$, тем необходимость в проведении ремонтных работ ПТУ больше. Оценка значимости узлов ПТУ при отключении ЭБ по аварийной заявке вследствие отказа ПТУ вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{ав.з},T,Y}^* = 10^2 \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m \sum_{v=1}^{n_Y} n_{\text{ав.з},j,i,v}^{T,Y} / \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m n_{\text{ав.з},j,i}^T \quad (6a)$$

где: $n_{\text{ав.з},j,i,v}^{T,Y}$ - число внезапных отказов v -го узла ПТУ j -го ЭБ в i -ом году, вызвавшего необходимость отключения ЭБ по аварийной заявке.

Эта величина по аналогии с $Q_{\text{вн},T,Y}^*$ позволяет установить «слабые звенья» ПТУ.

1.2. Показатели ремонтпригодности.

Эти показатели зависят от большого числа факторов и прежде всего определяются «слабыми звеньями» конкретного ПТУ и временем года.

1.2.1. Среднее время аварийного ремонта при внезапных отключениях ЭБ, связанных с отказом ПТУ (в ч.). Вычисляется по формуле:

$$M^*(\tau_{\text{вн},T}) = \frac{T_{\text{вн},T}}{N_{\text{вн}}^T} \quad (7)$$

1.2.2. Среднее время аварийного ремонта при отключениях ЭБ по аварийной заявке, связанной с отказом ПТУ (в ч.). Вычисляется по формуле:

$$M^*(\tau_{\text{ав.з},T}) = \frac{T_{\text{ав.з},T}}{N_{\text{ав.з}}^T} \quad (8)$$

1.3. Показатели сохраняемости.

Сохраняемость является одним из регламентированных свойств надежности и применительно к ПТУ означает сохранение работоспособности к моменту завершения нерабочего состояния, не связанного с восстановлением износа ПТУ. В период простоя на узлы ПТУ воздействует множество объективных и субъективных эксплуатационных факторов. Ограничению их воздействия в существенной степени способствуют мероприятия по консервации оборудования и контроль технического состояния перед пуском ЭБ. Нарушение работоспособности проявляется при пуске ЭБ и не зависит от возможной продолжительности нерабочего состояния ЭБ. Поэтому используемые зачастую показатели допустимой длительности сохраняемости (среднее и гарантированное значение) в нашем случае неприемлемы. Рекомендуются следующие показатели:

1.3.1. Относительное число отказов ПТУ при неуспешном пуске ЭБ. Оценка этой вероятности вычисляется по формуле:

$$Q_{\Pi,T}^* = \frac{\sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m n_{\Pi,j,i}^T}{\sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m n_{\Pi,j,i}^B} = N_{\Pi}^T / N_{\Pi}^B \quad (9)$$

где: $n_{\Pi,j,i}^B$ - число неуспешных пусков j -го ЭБ в i -ом году.

$n_{\Pi,j,i}^T$ - число отказов ПТУ вызвавших неуспешный пуск j -го ЭБ в i -ом году

$$N_{\Pi}^B = \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m n_{\Pi,j,i}^B$$

Величина $Q_{\Pi,T}^*$ позволяет оценить значимость неуспешных пусков ЭБ вследствие несоответствия сохраняемости ПТУ предъявляемым требованиям среди множества других причин неуспешных пусков ЭБ.

1.3.2. Относительная суммарная длительность состояний, требующих обеспечения сохраняемости ПТУ (%). Вычисляется по формуле:

$$\begin{aligned} \delta T_c^* &= (1 - \delta T_{P,B}^* - \delta T_{\text{ав},T}^{*\Sigma}) 10^2 \quad (10) \\ \delta T_{P,B}^* &= T_{P,B} / 8760 \cdot m ; \quad \delta T_{\text{ав},T}^{*\Sigma} = T_{\text{ав},T}^{\Sigma} / 8760 \cdot m \\ T_{\text{ав},T}^{\Sigma} &= T_{\text{вн},T} + T_{\text{ав.з},T} + T_{\Pi,T} + T_{\text{н.о},T} \\ T_{\Pi,T} &= \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m \sum_{v=1}^{n_{\Pi,j,i}^T} \tau_{\Pi,T,j,i,v} ; \end{aligned}$$

где $\tau_{\Pi,T,j,i,v}$ - v -ая длительность аварийного ремонта j -го ЭБ в i -ом году, обусловленная неуспешным пуском вследствие отказа ПТУ;

$n_{\Pi,j,i}^T$ - число аварийных ремонтов j -го ЭБ в i -ом году, вызванных неуспешным пуском вследствие отказа ПТУ.

1.4. Комплексные показатели.

1.4.1. Коэффициент готовности ПТУ, вычисляется по формуле:

$$K_{Г,T}^* = \frac{10^2 T_{P,B}}{(T_{P,B} + T_{\text{ав},T})}, \% \quad (11)$$

$$K_{ав,Т}^* = 1 - K_{Г,Т}^*$$

где: $K_{ав,Т}^*$ - коэффициент аварийного простоя ЭБ, связанный с отказами ПТУ.

1.4.2. Коэффициент готовности при внезапных отключениях ЭБ, связанных с отказами ПТУ. Вычисляется по формуле:

$$K_{Г,Т,вн}^* = \frac{10^2 T_{P,Б}}{(T_{P,Б} + T_{вн,Т})}, \% \quad (12)$$

$$K_{ав,Т,вн}^* = 1 - K_{Г,Т,вн}^*$$

Следует отметить, что вычисляемые по формуле (11) и (12) коэффициенты готовности по аналогии с оценкой параметра потока отказов обладают свойством «автономности», т.е. коэффициент готовности ЭБ, рассчитываемый по экспериментальным данным не равен величине, полученной исходя из оценок коэффициентов готовности элементов ЭБ. Действительно, если учесть независимость отказов элементов ЭБ, то $K_{Г,Б}^*$ не равен величине:

$$\left[1 - \sum_{i=1}^{M_{эп}} K_{ав,j}^* \right] = \left[1 - \sum_{i=1}^{M_{эп}} h_{ав,j}^* \cdot M_j^*(\tau_{ав}) \right]$$

С точки зрения снижения длительности простоя ЭБ в аварийном ремонте, что наряду с удельным числом отказов в наибольшей степени отражает заинтересованность эксплуатационного персонала, важно оценить значимость суммарной длительности аварийного ремонта турбины в суммарной длительности аварийного ремонта ЭБ. Доля аварийных ремонтов, обусловленных внезапными отказами, может быть вычислена по формуле:

$$Q_{вн,Т/Б}^* = T_{вн,Т} / T_{вн,Б} \quad (13)$$

где: $T_{вн,Т} = \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m \sum_{v=1}^{n_{вн,j,i}^T} \tau_{вн,Т,j,i,v}$; $T_{вн,Б} = \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{r=1}^{M_{эп}} \sum_{i=1}^m \sum_{v=1}^{n_{вн,j,i}^r} \tau_{вн,Б,j,r,i,v}$

а доля аварийных ремонтов при условии отключения ЭБ по аварийной заявке - по формуле:

$$Q_{ав.з,Т/Б}^* = T_{ав.з,Т} / T_{ав.з,Б} \quad (14)$$

где: $T_{ав.з,Т} = \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{i=1}^m \sum_{v=1}^{n_{ав.з,j,i}^T} \tau_{ав.з,Т,j,i,v}$; $T_{ав.з,Б} = \sum_{j=1}^{n_B} \sum_{r=1}^{M_{эп}} \sum_{i=1}^m \sum_{v=1}^{n_{ав.з,j,i}^r} \tau_{ав.з,Б,j,r,i,v}$

2. Некоторые результаты количественной оценки показателей надежности ПТУ ЭБ 165 МВт и 300 МВт.

В таблице 1 и 2 приведены усредненные за ряд лет ПН ПТУ ЭБ соответственно 165 и 300 МВт. Сопоставление средних значений ПН свидетельствует, об отсутствии их значимого различия. Аналогичное заключение может быть сделано и для отдельных ПТУ. Так удельное число внезапных отказов ПТУ ЭБ 165 МВт изменяется в пределах (0,2 ÷ 2,2) отк./год, а для ЭБ 300 МВт эта величина изменяется в пределах от (1 ÷ 2,5) отк./год. Иначе говоря, распределение удельного числа ЭБ в большей степени определяется станционным номером, чем номинальной мощностью. Аналогичное заключение может быть сделано и по другим ПН ПТУ. Наименее надежной ПТУ ЭБ 165 МВт следует считать ПТУ четвертого ЭБ, а наиболее надежным – ПТУ второго ЭБ. Для ЭБ 300 МВт наименее надежной ПТУ следует считать ПТУ четвертого ЭБ, а наиболее надежной – ПТУ восьмого ЭБ. Следует отметить, что данные пятого ЭБ 300 МВт отражают среднее значение до и после модернизации и поэтому недостаточно характерны.

Показатели индивидуальной надежности энергоблоков 165 МВт

Таблица 1

Показатель надежности	Сред. по стан.	Станционный номер энергоблока						
		1	2	3	4	5	6	7
ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОТКАЗНОСТИ								
1. $\lambda_{\text{вн},T}^*$, отк/год	1.3	1	.3	2	2.7	1.1	1.3	.9
2. $\lambda_{\text{ав.з},T}^*$, отк/год	1.1	1.7	0	.9	.9	1.9	.6	1.4
ПОКАЗАТЕЛИ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ								
3. $M^*(\tau_{\text{вн},T})$, ч.	57	69	214	4	99	68	27	15
4. $M^*(\tau_{\text{ав.з},T})$, ч.	106	155	0	113	79	114	42	85
ПОКАЗАТЕЛЬ СОХРАНЯЕМОСТИ								
5. $Q_{\text{п},T}^*$, %	8.8	14.3	0	0	0	0	0	18.2
6. δT_c^* , %	24.8	22.6	11.8	12.4	12.6	6.6	21.7	10.5
КОМПЛЕКСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ								
7. $K_{\text{Г},T}^*$, %	2.1	3.6	.7	1.2	3.7	3.3	.7	1.5
8. $K_{\text{Г},T,\text{вн}}^*$, %	.8	.8	.7	.1	2.9	.9	.4	.1

Показатели индивидуальной надежности энергоблоков 300 МВт

Таблица 2

Показатель надежности	Сред. по стан.	Станционный номер энергоблока							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОТКАЗНОСТИ									
1. $\lambda_{\text{вн},T}^*$, отк/год	1.4	1.6	1.2	1.3	2.5	1.7	1	1.3	1.2
2. $\lambda_{\text{ав.з},T}^*$, отк/год	1.7	1.4	1.4	5.4	.9	3	1	1	.7
ПОКАЗАТЕЛИ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ									
3. $M^*(\tau_{\text{вн},T})$, ч.	52	178	33	31	35	22	42	42	4
4. $M^*(\tau_{\text{ав.з},T})$, ч.	124	74	92	158	61	118	137	81	183
ПОКАЗАТЕЛЬ СОХРАНЯЕМОСТИ									
5. $Q_{\text{п},T}^*$, %	24	0	20	0	50	33.3	0	0	0
6. δT_c^* , %	25.8	23.2	28.6	30.9	35.3	36.6	20.4	19.4	12.4
КОМПЛЕКСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ									
7. $K_{\text{Г},T}^*$, %	3.3	4.3	1.9	9.6	1.7	4.3	2.1	1.5	1.5
8. $K_{\text{Г},T,\text{вн}}^*$, %	.8	3.2	.4	.4	1	.4	.5	.6	.0

Представляет интерес сопоставление данных таблиц 1 и 2 с показателями надежности для внезапных отказов однотипных блоков, эксплуатируемых в России. По данным [3] в 2001 г. средняя наработка на отказ ЭБ 165 и 300 МВт в России составляла, соответственно, 1301 и 3597 ч. Если сравнить эти данные с данными табл.1 и 2, то нетрудно заметить, что усредненные показатели ЭБ однотипного исполнения практически не отличаются.

Данные таблиц 1 и 2 свидетельствуют о высокой эффективности мероприятий, обеспечивающих сохранность ПТУ. В среднем десятая часть неуспешных пусков ЭБ

165 и 300 МВт обусловлена отказами ПТУ и около 25% времени года ПТУ находится в состоянии, требующем обеспечения сохранности

3. Выводы. Количественная оценка показателей надежности оборудования и устройств электроэнергетических систем является одним из важнейших условий снижения эксплуатационных затрат.

1. Разработаны метод, алгоритм и программы оценки показателей индивидуальной надежности ПТУ энергоблоков тепловых электростанций, отражающих соответствие свойств безотказности, ремонтпригодности и сохранности предъявляемым требованиям.
2. Практическая иллюстрация метода приведена на примерах данных ПТУ 165 и 300 МВт. Показано, что усредненные показатели надежности практически подобны показателям надежности аналогичных ПТУ тепловых электростанций России. Различие показателей надежности отдельных энергоблоков подтверждает целесообразность учета технического состояния ПТУ при планировании объема ремонтных работ и технических испытаний.

-
1. *Земцов А.С.* Разработка программы обновления основного оборудования ТЭС РАО «ЕЭС России» на период до 2010 г. Теплоэнергетика, 2004, №9, с.2-7.
 2. *Никджу А.Д., Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З.* Некоторые вопросы долговечности стареющего оборудования ТЭС. М; - Теплоэнергетика № 10, 2003г.
 3. Анализ работы энергетических блоков мощностью 150-1200 МВт за 2001 г. М.: СПО ОРГРЭС, 2002

İES-NIN BUXARTURBİN QURĞULARININ ETİBARLIQ GÖSTƏRİCİLƏRİNİN HESABAT METODİKASI

FƏRHADZADƏ E.M., MURADƏLIYEV A.Z., RƏFIYEV T.K., NƏZİROVA U.K.

Bloklu İstilik Elektrik stansiyalarının buxarturbin qurğularının fərdi etibarlıq göstəricilərinin və kəmiyyətə qiymətləndirilən bir neçə nəticənin hesablanma metodikasına baxılır

DESIGN PROCEDURE OF INDEXES RELIABILITY STEAM-TURBINE PLANTS OF STATE DISTRICT POWER STATION

FARHADZADEH E.M., MURADALIYEV A.Z., RAFIYEVA T.K., NAZIROVA U.K.

The design procedure of indexes of individual reliability of steam-turbine plants of block heat power plants and some outcomes of their quantitative assessment is reduced.