

УДК 621.019

Оценка качества восстановления износа энергоблоков ТЭС

Э. М. Фархадзаде¹⁾, А. З. Мурадалиев¹⁾, Ю. З. Фарзалиев¹⁾

¹⁾Азербайджанский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт энергетики (Баку, Азербайджанская Республика)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Восстановление износа оборудования и устройств энергоблока проводится в период планового ремонта. Качество восстановления износа оценивается техническим состоянием и выполнением ремонтных работ. Качество проведения ремонтных работ характеризует организационно-техническую деятельность электростанции и ремонтного предприятия и оценивается по пятибалльной системе. Различают три оценки технического состояния: соответствующее, соответствующее с ограничениями и не соответствующее требованиям нормативно-технической документации. На практике эти ограничения обуславливают существенную неопределенность решения. В дополнение к регламентируемым методикам в качестве информационной поддержки предлагается оценку качества восстановления износа (качества ремонта) проводить по характеру изменения технико-экономических показателей. Рекомендуется техническое состояние энергоблоков также оценивать по пятибалльной системе. Выделены недопустимая, неудовлетворительная, удовлетворительная, хорошая и показательная оценки. Показано, что критерии оценки зависят от характера изменения надежности и экономичности работы после ремонта при увеличении или уменьшении технико-экономических показателей относительно их среднего, минимального или максимального значений до ремонта. К недопустимому качеству восстановления износа отнесены случаи, когда один или большее число технико-экономических показателей не только не улучшили свое значение, а ухудшили его, причем стали хуже наихудшего из наблюдаемых на энергоблоках значений. Показательная оценка качества восстановления износа выставляется при условии, что оценки технико-экономических показателей после ремонта не только улучшены, но и превысили наилучшую среди наблюдаемых оценок на энергоблоках. Разработанный метод и алгоритм оценки качества выполнения плановых ремонтов способствуют практической реализации независимого мониторинга по данным не только об изменении числа и длительности простоя при аварийных отключениях энергоблока, но и измерения и расчета технико-экономических показателей. Совершенствование анализа изменения технико-экономических показателей позволяет существенно повысить оперативность оценки качества ремонтных работ и тем самым снизить затраты, связанные с нечетким ранжированием надежности и экономичности работы энергоблоков по предъявляемым требованиям.

Ключевые слова: износ, качество ремонта, технико-экономические показатели, техническое состояние, оценка, ранжирование

Для цитирования: Фархадзаде, Э. М. Оценка качества восстановления износа энергоблоков ТЭС / Э. М. Фархадзаде, А. З. Мурадалиев, Ю. З. Фарзалиев // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2016. Т. 59, № 1. С. 14–24

Адрес для переписки

Фархадзаде Эльмар Мехтиевич
Азербайджанский научно-исследовательский
и проектно-изыскательский институт
энергетики
пр. Г. Зардаби, 94
Az1012, г. Баку, Азербайджанская Республика
Тел.: +99412 431-64-07
fem1939@rambler.ru

Address for correspondence

Farhadzadeh Elmar M.
Azerbaijan Scientific-Research
and Design-Prospecting Institute
of Energetic
94 G. Zardabi Ave.,
Az1012, Baku, the Azerbaijani Republic
Tel.: +99412 431-64-07
fem1939@rambler.ru

Quality Evaluation of the TPP Power Generating Units Wear Reconditioning

E. M. Farhadzadeh¹⁾, A. Z. Muradaliyev¹⁾, Yu. Z. Farzaliyev¹⁾

¹⁾Azerbaijan Scientific-Research and Design-Prospecting Institute of Energetics
(Baku, the Azerbaijani Republic)

Abstract. Reconditioning of the power generating unit worn equipment and devices is conducted during the scheduled repair period. Quality of wear reconditioning is evaluated by technical state and repair work implementation. Quality of the repair work execution characterizes logistical activities of the power station and the repair services and is rated by a five-grade scale. There are three technical conditions: adequate, subject to reservations, falling short of the technical standard documentation requirements. In practical work these constraints give place to essential ambiguity of the decision. Further to regulating techniques by way of informational support, the authors propose conducting the wear-reconditioning quality evaluation (repair quality) accordingly the technical-and-economic indexes pattern of change. The paper recommends applying similarly the five-grade system in evaluating the power generating unit technical state and distinguishes intolerable, dissatisfactory, fair, good and model estimates. The study demonstrates the assessment criteria dependence on the character of reliability and economical efficiency of performance variation after the repair with increase or decrease of the technical-and-economic indexes in reference to their mean, minimum and maximum values before the repair. The cases ascribed to intolerable quality of the wear reconditioning are those with one or more technical-and-economic indexes that not only failed to improve their values but deteriorated, and at that they became the worst amongst observable values. The model quality estimate of the wear reconditioning is allotted under condition that the power unit technical-and-economic index valuations after the repair not merely improved but also exceeded the best among those under observation. The developed method and algorithm for quality evaluation of the scheduled repair implementation contribute to practical realization of the independent monitoring. This monitoring not merely accounts for the information on alteration in the power generating unit emergency-switching standing time number and duration but also for the data of measurement and computation of technical-and-economic indexes. The technical-and-economic indexes variation analysis refinement allows significant rise in the repair work quality evaluation immediacy and in doing so reduces the costs associated with indistinct performance reliability and economical efficiency ranging of the power units based upon specified requirements.

Keywords: wear, repair quality, technical-and-economic indexes, technical state, evaluation, ranging

For citation: Farhadzadeh E. M., Muradaliyev A. Z., Farzaliyev Yu. Z. (2016) Quality Evaluation of the TPP Power Generating Units Wear Reconditioning. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 59 (1), 14–24 (in Russian)

Постановка задачи

Повышение надежности и экономичности энергоблоков ТЭС относится к важнейшим задачам электроэнергетических систем. Одно из основных направлений ее решения – своевременное восстановление износа оборудования и устройств ТЭС [1]. В соответствии с [2] оценка качества планового ремонта проводится после подконтрольной эксплуатации и включает оценку технического состояния (ТС) отремонтированного оборудования и качества выполненных ремонтных работ.

Различают три типа оценки ТС:

- соответствует требованиям нормативно-технической документации (НТД);

- соответствует требованиям НТД с ограничениями;
- не соответствует требованиям НТД.

Под ограничениями понимают:

- часть требований НТД не выполнена;
- не устранен ряд дефектов, допускающих временную работу оборудования;
- имеются замечания при работе на различных режимах;
- не все параметры ТС удовлетворяют предъявляемым требованиям.

Перечисленные недостатки могут лишь снизить надежность и экономичность работы, но не должны приводить к аварийному отключению энергоблоков, нарушению безопасности технического обслуживания. На практике [3–5] при оценке ТС энергоблоков эти ограничения обуславливают существенные элементы неопределенности решения. Итоговая оценка ТС зависит от многочисленных оценок качества исполнения элементов технологии капитального ремонта.

Качество выполнения ремонтных работ характеризует организационно-техническую деятельность (как электростанции (заказчика), так и ремонтного предприятия (исполнителя)) и оценивается по пятибалльной системе. Основные требования, предъявляемые к электростанции при оценке качества отремонтированного оборудования, – своевременное обеспечение требуемыми материалами и запасными частями, безошибочность оценки ТС оборудования и устройств до и в процессе ремонта, в период подконтрольной эксплуатации (30 дней). Наряду с использованием отмеченных оценок ТС после капитального (среднего) ремонта авторами предлагается в качестве информационной поддержки руководящего персонала ТС энергоблоков, котельной и турбинной установок ТЭС после планового ремонта оценивать по изменению технико-экономических показателей (П) энергоблоков и их установок. Значимость этих показателей для характеристики надежности и экономичности работы хорошо известна [6]. Разработанные алгоритм и программа расчета являются подсистемой АИС «Анализ технического состояния энергоблоков» [7].

Алгоритм расчета

Графическая иллюстрация критериев оценки ТС оборудования энергоблока после планового ремонта приведена на рис. 1. Первые четыре графика относятся к показателям, увеличение количественных оценок которых связано с ростом надежности и экономичности (эффективности) работы оборудования (коэффициент корреляции $r_{ij} > 0$), а вторые четыре – к показателям, увеличение которых свидетельствует о снижении эффективности работы ($r_{ij} < 0$). Например, чем выше КПД энергоблока, тем эффективность его работы выше, а чем выше удельный расход условного топлива, тем эффективность работы ниже.

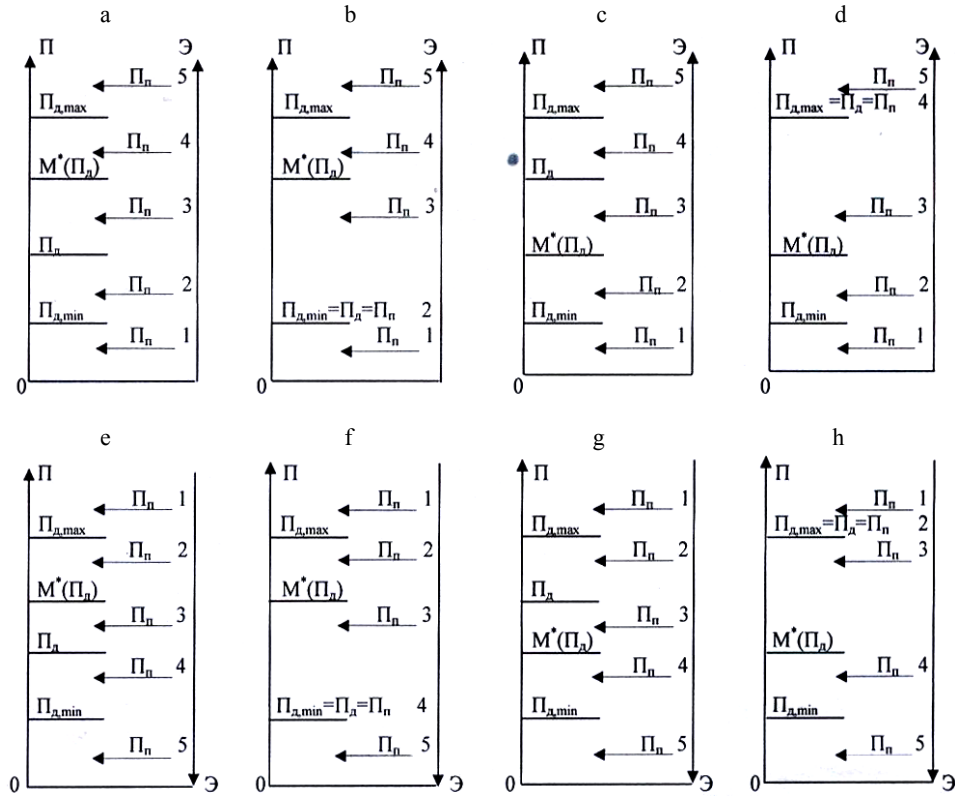


Рис. 1. Графическая иллюстрация оценки качества ремонта: а-д $\rightarrow r_{ij} > 0$; е-н $\rightarrow r_{ij} < 0$;
а, б, е, ф $\rightarrow \Pi_d < M^*(\Pi_d)$; с, д, г, н $\rightarrow \Pi_d > M^*(\Pi_d)$; б, ф $\rightarrow \Pi_d = \Pi_{d,\min}$; д, н $\rightarrow \Pi_d = \Pi_{d,\max}$

Fig. 1. Graphic illustration of the repair quality evaluation: а-д $\rightarrow r_{ij} > 0$; е-н $\rightarrow r_{ij} < 0$;
а, б, е, ф $\rightarrow \Pi_d < M^*(\Pi_d)$; с, д, г, н $\rightarrow \Pi_d > M^*(\Pi_d)$; б, ф $\rightarrow \Pi_d = \Pi_{d,\min}$; д, н $\rightarrow \Pi_d = \Pi_{d,\max}$

Оценка ТС оборудования после ремонта зависит также от соотношений [8, 9]:

- среднего значения показателя $M^*(\Pi_d)$ до ремонта и фактического значения показателя после ремонта (Π_n);
- фактического значения показателей (Π_d), минимального и максимального значений показателей ($\Pi_{d,\min}$ и $\Pi_{d,\max}$) ремонта. Выделены случаи, когда $\Pi_d = \Pi_{d,\min}$ и $\Pi_d = \Pi_{d,\max}$.

В целом оценка ТС оборудования после ремонта определяется возможными значениями Π_n . Нумерация вариантов реализаций Π_n соответствует рекомендуемым оценкам качества восстановления износа по пятибалльной системе. Выделены следующие оценки качества восстановления и износа: 1 – недопустимое; 2 – неудовлетворительное; 3 – удовлетворительное; 4 – хорошее; 5 – показательное. Как следует из рис. 1, к недопустимому качеству отнесены случаи, когда:

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } r_{ij} > 0 \text{ величина } \Pi_n < \Pi_{d,\min}; \\ \text{при } r_{ij} < 0 \text{ величина } \Pi_n > \Pi_{d,\max}. \end{array} \right\} \quad (1)$$

Напомним, что [8]

$$M^*(\Pi_d) = n_6^{-1} \sum_{i=1}^n \Pi_{d,i},$$

где n_6 – число энергоблоков, находящихся за рассматриваемый период в рабочем состоянии; $\Pi_{d,i}$ – количественная оценка показателя i -го энергоблока,

$$\Pi_{d,\min} = \min(\Pi_{d,1}, \Pi_{d,2}, \dots, \Pi_{d,n}); \quad \Pi_{d,\max} = \max(\Pi_{d,1}, \Pi_{d,2}, \dots, \Pi_{d,n}).$$

По существу, недопустимое качество восстановления износа в период ремонта имеет место, когда один или большее число технико-экономических показателей оборудования энергоблока после ремонта ухудшены не только по сравнению с аналогичными показателями данного энергоблока до ремонта, но и по сравнению со значением этих показателей всех энергоблоков.

Неудовлетворительная оценка качества восстановления износа выносится, если:

- при $r_{ij} > 0$

$$\left. \begin{array}{l} \Pi_{d,\min} \leq \Pi_p < \Pi_d, \text{ а } \Pi_{d,\min} \leq \Pi_d < M^*(\Pi_d) \\ \text{или} \quad \Pi_{d,\min} \leq \Pi_p < M^*(\Pi_d), \text{ а } M^*(\Pi_d) < \Pi_d \leq \Pi_{d,\max}; \end{array} \right\} \quad (2)$$

- при $r_{ij} < 0$

$$\left. \begin{array}{l} M^*(\Pi_d) < \Pi_p < \Pi_{d,\max}, \text{ а } \Pi_{d,\min} \leq \Pi_d < M^*(\Pi_d) \\ \text{или} \quad \Pi_d < \Pi_p < \Pi_{d,\max}, \text{ а } M^*(\Pi_d) < \Pi_d \leq \Pi_{d,\max}. \end{array} \right\} \quad (3)$$

Заметим, что равенство Π_d и Π_p свидетельствует о неизменности износа узла. Иначе говоря, соответствующий «узел» котельной установки (КУ) или не входил в объем ремонта, или не был восстановлен.

Удовлетворительная оценка качества восстановления износа не зависит от r_{ij} и проставляется в следующих случаях:

$$\left. \begin{array}{l} \Pi_d < \Pi_p < M^*(\Pi_d), \text{ а } \Pi_d \geq \Pi_{d,\min} \\ \text{или} \quad M^*(\Pi_d) < \Pi_p < \Pi_d, \text{ а } \Pi_d \leq \Pi_{d,\max}. \end{array} \right\} \quad (4)$$

Хорошая оценка качества восстановления износа выносится:

- при $r_{ij} > 0$

$$\left. \begin{array}{l} M^*(\Pi_d) < \Pi_p < \Pi_{d,\max}, \text{ а } \Pi_{d,\min} \leq \Pi_d < M^*(\Pi_d) \\ \text{или} \quad \Pi_d < \Pi_p \leq \Pi_{d,\max}, \text{ а } M^*(\Pi_d) < \Pi_d \leq \Pi_{d,\max}; \end{array} \right\} \quad (5)$$

- при $r_{ij} < 0$

$$\left. \begin{array}{l} \Pi_{d,\min} \leq \Pi_p < \Pi_d, \text{ а } \Pi_{d,\min} \leq \Pi_d < M^*(\Pi_d) \\ \text{или} \quad \Pi_{d,\min} \leq \Pi_p < M^*(\Pi_d), \text{ а } M^*(\Pi_d) < \Pi_d \leq \Pi_{d,\max}. \end{array} \right\} \quad (6)$$

Показательная оценка качества восстановления износа устанавливается:

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } r_{ij} > 0, \text{ когда } \Pi_{\text{п}} > \Pi_{\text{д, max}}; \\ \text{при } r_{ij} < 0, \text{ когда } \Pi_{\text{п}} < \Pi_{\text{д, min}}. \end{array} \right\} \quad (7)$$

Заметим, что условия оценки качества восстановления износа одинаковы:

- для недопустимой и показательной оценок соответственно при $r_{ij} > 0$ и $r_{ij} < 0$, а также, когда для недопустимого качества $r_{ij} < 0$, а для показательного $r_{ij} > 0$;

- для неудовлетворительной и хорошей оценок соответственно при $r_{ij} > 0$ и $r_{ij} < 0$, а также при $r_{ij} < 0$ и $r_{ij} > 0$.

Примеры оценки изменения технико-экономических показателей КУ энергоблоков 30 МВт на газомазутном топливе ТЭС после планового ремонта приведены в табл. 1 [10].

Таблица 1

Оценки изменения технико-экономических показателей после капитального ремонта и подконтрольной эксплуатации КУ энергоблоков

**Evaluations of the technical-and-economic indexes variation
after the power generating units KU capital repair and the controlled operation**

Показатель	r_{ij}	$\Pi_{\text{д}}$	$M^*(\Pi_{\text{д}})$	$\Pi_{\text{д, max}}$	$\Pi_{\text{д, min}}$	$\Pi_{\text{п}}$	Оценка качества изменения
$W_{\text{сн}}$	–	2,37	–	2,38	–	2,46	Недопустимо
$\eta_{\text{нт}}$	+	84,20	–	–	84,20	76,20	Недопустимо
$\eta_{\text{нт}}$	+	84,30	84,32	–	82,60	83,70	Неудовлетворительно
$S_{\text{п}}$	–	1,11	1,12	1,18	–	1,14	Неудовлетворительно
$S_{\text{п}}$	–	43,70	41,7	49,00	–	44,80	Неудовлетворительно
$T_{\text{пв}}$	+	224,70	237,90	–	–	232,80	Удовлетворительно
$T_{\text{уг}}$	–	121,60	114,30	–	–	115,10	Удовлетворительно
$Q_{\text{сн}}$	–	1,26	1,55	–	–	1,33	Удовлетворительно
$T_{\text{рпв}}$	+	275,80	284,00	294,30	–	290,20	Хорошо
$T_{\text{уг}}$	–	121,60	114,30	–	105,80	114,20	Хорошо
$W_{\text{сн}}$	–	2,45	2,19	2,10	–	2,17	Хорошо
$\eta_{\text{бт}}$	+	90,57	–	91,14	–	31,46	Показательно
$S_{\text{п}}$	–	45,10	–	–	40,50	38,30	Показательно
Обозначения: $W_{\text{сн}}$ – доля электроэнергии на собственные нужды, %; $\eta_{\text{нт}}$ – КПД «нетто», %; $S_{\text{п}}$ – присос воздуха на тракте, %; $T_{\text{пв}}$ – температура питательной воды, °С; $T_{\text{уг}}$ – то же уходящих газов, °С; $Q_{\text{сн}}$ – доля тепловой энергии на собственные нужды, %; $T_{\text{рпв}}$ – температура воздуха после РПВ, °С; $\eta_{\text{бт}}$ – КПД «брутто», %.							

Рассмотрим особенности чтения табл. 1. Недопустимое увеличение удельного расхода электроэнергии собственных нужд после планового ремонта имело место потому, что $\Pi_{\text{п}}$ не только больше $\Pi_{\text{д}}$, но и $\Pi_{\text{д, max}}$, а недопустимое снижение КПД «нетто» $\Pi_{\text{п}} = 76,2$ % оценено так потому, что $\Pi_{\text{п}} < \Pi_{\text{д}} - \Pi_{\text{д, min}}$.

В целом качество ремонта устанавливается по наихудшей оценке характера изменения технико-экономических показателей.

Три фрагмента оценки качества планового ремонта КУ энергоблока на газомазутном топливе мощностью 300 МВт показаны в табл. 2–4.

**Оценка качества планового ремонта КУ
после завершения подконтрольной эксплуатации**

**Scheduled KU repair quality evaluation
after the controlled operation period termination**

Технико-экономический показатель							Оценка изменения показателя
Наименование	Количественная оценка						
	Месяц до ре- монта	Месяц после ремонта	Расчетный показатель до ремонта, значение				
			Сред- нее	Мини- маль- ное	Макси- маль- ное	Относительное отклонение от среднего значения	
Температура пита- тельной воды	224,7	232,8	237,2	224,7	244,4	3,4	Удовлетво- рительно
Температура уходя- щих газов	121,6	115,1	114,3	105,8	121,6	5,69	Удовлетво- рительно
КПД «нетто»	83,23	85,23	82,98	76,14	86,12	2,41	Хорошо
Доля электроэнергии на собственные нужды	2,91	2,81	3,31	1,88	8,07	3,02	Хорошо
Температура воздуха после РВП	275,8	290,2	283,96	273,7	294,3	5,07	Хорошо
Коэффициент избытка воздуха	1,35	1,18	1,32	1,2	1,39	12,94	Хорошо
Доля тепловой энер- гии на собственные нужды	1,55	1,22	1,42	1,26	1,67	23,26	Хорошо
КПД «брутто»	90,02	92,01	90,64	88,88	91,72	2,2	Показа- тельно
Присос воздуха на тракте	67,7	33,02	50,81	39,8	67,7	67,76	Показа- тельно
<p>Примечание. Учитывая, что качество отремонтированного оборудования определяет ся наименьшей оценкой изменения показателей, по данным таблицы следует, что:</p> <ul style="list-style-type: none"> качество отремонтированной КУ удовлетворительное; технико-экономические показатели изменились следующим образом: улучшили свое значение девять; не ухудшил свое значение ни один. 							

Таблица 3

Оценка качества ремонта через два месяца после завершения ремонта
The repair quality evaluation after two months following the repair completion

Технико-экономический показатель							Оценка изменения показателя
Наименование	Количественная оценка						
	Месяц до ре- монта	Месяц после ремонта	Расчетный показатель до ремонта, значение				
			Среднее	Мини- маль- ное	Макси- маль- ное	Относительное отклонение от среднего значения	
КПД «нетто»	83,23	86,09	82,98	76,14	86,12	3,44	Хорошо
Температура уходя- щих газов	121,6	114,2	114,3	105,8	121,6	6,47	Хорошо
Температура пита- тельной воды	224,7	242,8	237,95	224,7	244,4	7,61	Хорошо
Доля электроэнер- гии на собственные нужды	2,91	2,39	3,31	1,88	8,07	15,7	Хорошо
Коэффициент избыт- ка воздуха	1,35	1,11	1,32	1,2	1,39	18,24	Хорошо
Доля тепловой энер- гии на собственные нужды	1,55	1,03	1,42	1,26	1,67	36,65	Хорошо
КПД «брутто»	90,02	92,22	90,64	88,88	91,72	2,43	Показа- тельно
Температура воздуха после РВП	275,8	302,7	283,96	273,7	294,3	9,47	Показа- тельно
Присос воздуха на тракте	67,7	38,2	50,91	39,8	67,7	57,94	Показа- тельно
<p>Примечание. Учитывая, что качество отремонтированного оборудования определяет- ся наименьшей оценкой изменения показателей, по данным таблицы следует, что:</p> <ul style="list-style-type: none">• качество отремонтированной КУ хорошее;• технико-экономические показатели изменились следующим образом: улучшили свое значение девять; не ухудшил свое значение ни один.							

Сопоставление табл. 2 и 3 свидетельствует о том, что изменение технико-экономических показателей, вычисленных непосредственно после подконтрольной эксплуатации, как и следовало ожидать, недостаточно полно характеризует качество ремонта. Изменение среднемесячных технико-экономических показателей, вычисленных через два месяца после включения энергоблока в работу, свидетельствует об их улучшении в результате завершения наладки и устранения дефектов в подконтрольном периоде. Однако ошибочно было бы думать, что все плановые ремонты завершаются одинаково хорошо. В иллюстративных целях в табл. 4 приведены резуль-

Таблица 4

Illustration of dissatisfactory repair quality evaluation after the controlled operation

Технико-экономический показатель							Оценка изменения показателя
Наименование	Количественная оценка						
	Месяц до ремонта	Месяц после ремонта	Расчетный показатель до ремонта, значение				
			Среднее	Минимальное	Максимальное	Относительное отклонение от среднего значения	
Доля электроэнергии на собственные нужды	2,37	2,46	2,27	2,12	2,38	-3,97	Недопустимо
Коэффициент избытка воздуха	1,11	1,14	1,11	1,09	1,18	-2,61	Неудовлетворительно
Температура воздуха после РВП	288,0	285,6	278,12	262,9	288,0	-0,86	Удовлетворительно
Температура уходящих газов	115,8	110,8	108,55	101,8	115,8	4,61	Удовлетворительно
Присос воздуха на тракте	43,7	36,5	41,75	38,2	49,0	17,25	Хорошо
Доля тепловой энергии на собственные нужды	1,42	1,13	1,4	1,35	1,48	20,74	Хорошо
Температура питательной воды	240,9	242,0	236,12	225,6	240,9	0,47	Показательно
КПД «брутто»	91,19	92,17	91,13	90,63	91,29	1,08	Показательно
КПД «нетто»	84,79	85,87	85,0	84,32	85,33	1,27	Показательно

Примечания: 1. Учитывая, что качество отремонтированного оборудования определяется наименьшей оценкой изменения показателей, по данным таблицы следует, что:

- качество отремонтированной КУ недопустимое;
- технико-экономические показатели изменились следующим образом:
улучшили свое значение семь;
ухудшили свое значение два.

2. Рекомендуются при возможности оперативно улучшить следующие показатели:

- коэффициент избытка воздуха;
- долю электроэнергии на собственные нужды.

ВЫВОДЫ

1. Разработанные метод и алгоритм оценки качества выполнения плановых ремонтов способствуют практической реализации независимого мониторинга по данным не только об изменении числа и длительности простоя при аварийных отключениях энергоблока, но и измерения и расчета технико-экономических показателей.

2. Совершенствование анализа изменения технико-экономических показателей позволяет существенно повысить оперативность оценки качества ремонтных работ и тем самым снизить затраты, связанные с нечетким ранжированием надежности и экономичности работы энергоблоков по предъявляемым требованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяков, А. Ф. Проблемы и пути повышения надежности ЕЭС России / А. Ф. Дьяков, Я. Ш. Исамухамедов, В. В. Молодюк // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып. 64: Надежность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы. Иркутск, 2014. С. 8–16.
2. Тепловые и гидравлические станции. Методики оценки качества ремонта энергетического оборудования. Основные положения: СТО10 ОАО РАО «ЕЭС России». Введ. 23.04.2007. М., 2008. 32 с.
3. Барило, В. В. Оценка качества ремонта оборудования электростанций, эксплуатируемого за пределами нормативного срока службы / В. В. Барило, О. С. Голоднова, Г. В. Ростин // Инновационное развитие электроэнергетики в XXI в.: сб. докл. юбилейной науч.-практ. конф., посвященной 55-летию ИПК госслужбы. М.: ИПК госслужбы, 2007. Т. 4.
4. Загретдинов, И. Ш. Обеспечение надежной и безопасной эксплуатации тепловых электрических станций / И. Ш. Загретдинов // Электрические станции. 2004. № 10. С. 6–10.
5. Дефекты турбогенераторов и методы их диагностики на начальной стадии появления / Д. В. Кузнецов [и др.] // Электрические станции. 2004. № 8. С. 51–57.
6. Фурсова, Т. Н. Автоматизация определения и анализа технико-экономических показателей энергоблоков [Электронный ресурс] // Машинобудовання: зб. наук. праць. 2012. Вип. 9. Режим доступа: <http://hdl.handle.net/123456789/964>. Дата доступа: 15.11.2015.
7. Автоматизированная система анализа индивидуальной надежности и эффективности энергоблоков ГРЭС / Э. М. Фархадзаде [и др.] // Электрические станции. 2005. № 11. С. 38–46.
8. Фархадзаде, Э. М. Метод и алгоритм ранжирования котельных установок блочных электростанций по критерию надежности и экономичности работы / Э. М. Фархадзаде, Ю. З. Фарзалиев, А. З. Мурадалиев // Теплоэнергетика. 2015. № 10. С. 22–29.
9. Фархадзаде, Э. М. Ранжирование энергоблоков электростанций по надежности и экономичности их работы / Э. М. Фархадзаде, Ю. З. Фарзалиев, А. З. Мурадалиев // Баку: Проблемы энергетики. 2014. № 5. С. 8–16.
10. Методические указания по составлению отчета электростанции о тепловой экономичности оборудования: РД 34.08.552–95. Введ.: 01.02.1996. М.: СПО ОРГРЭС, 1995. 126 с.

Поступила 31.08.2015 Подписана в печать 01.10.2015 Опубликована онлайн 29.01.2016

REFERENCES

1. Diakov A. F., Isamukhamedov Ia. Sh., Molodyuk V. V. (2014) Challenges and Directions for Improving Reliability of the UES of Russia. *Methodological Issues of Research Into Reliability of Large Scale Systems of the Power Economy. Vol. 64. The Reliability of Energy Systems: Achievements, Problems, Prospects.* Irkutsk, 8–16 (in Russian).

2. *STO10 OAO RAO "EES Rossii"* [Standard Organization 10 RAO Unified Energy Systems of Russia]. *Thermal and Hydraulic Power Stations. Repair-Quality Estimation Procedures for the Power-Generating Equipment. Conceptual Issues*. Moscow, 2008. 32 p. (in Russian)
3. Barilo V. V., Golodnova O. S., Rostin G. V. (2007) Repair Quality Evaluation for the Power Plant Equipment Operated Beyond the Limits of Standard Operation Time. *The Innovative Development of Electric Power Industry in the XXI Century: Collection of Papers of Jubilee Scientific and Practical Conference Dedicated to the 55th Anniversary of the Institute of Advanced Training of the Civil Service. Vol. 4*. Moscow: Institute of Advanced Training of Public Service (in Russian).
4. Zagretdinov I. Sh. (2004) Assuring Dependable and Safety Operation of the Thermal Power Plants. *Elektricheskie Stantsii* [Electric Power Stations], (10), 6–10 (in Russian).
5. Kuznetsov D. V., Maslov V. V., Pikulskii V. A., Poliakov V. I., Poliakov F. A., Shandybin M. I. (2004) Turbo-Generator Defects and Methods for their Early Stages Diagnostics. *Elektricheskie Stantsii* [Electric Power Stations], (8), 51–57 (in Russian).
6. Fursova T. N. (2012) Automation of the Power Generating Unit Technical-and-Economic Indexes Ascertainment and Analysis. *Mashinobuduvannia. Zbirnik Naukovikh Prats* [Mechanical Engineering. Collection of Scientific Papers], (9). Available at: <http://hdl.handle.net/123456789/964> (Accessed 15 November 2015) (in Russian).
7. Farhadzadeh E. M., Safarova T. Kh., Muradaliyev A. Z., Rafieva T. K., Farzaliyev Yu. Z. (2005) Automated Analysis System of the SDPP Power-Generating Units Individual Reliability and Effectiveness. *Elektricheskie Stantsii* [Electric Power Stations], (11), 38–46 (in Russian).
8. Farhadzadeh E. M., Farzaliyev Yu. Z., Muradaliyev A. Z. (2015) The Modular Power Station Boiler-Plant Ranging Method and Algorithm Based on Criterion of Reliability and Operational Efficiency. *Teploenergetika* [Thermal Engineering], (10), 22–29. Doi: 10.1134/S0040363615080019 (in Russian).
9. Farhadzadeh E. M., Farzaliyev Yu. Z., Muradaliyev A. Z. (2014) Ranging the Power Station Generating Units by Reliability and their Operational Efficiency. *Baku: Problemy Energetiki* [Baku: Energy Problems], (5), 8–16 (in Russian).
10. *RD [Guidance Document] 34.08.552–95. Instructional Guidelines for the Power Station Report Compilation on the Equipment Cycle Economy*. Moscow, SPO ORGRES. 126 p. (in Russian).

Received: 31 August 2015

Accepted: 1 October 2015

Published online: 29 January 2016