

---

УДК 621.019

**Э.М. Фархадзаде**, д-р техн. наук, **А.З. Мурадалиев**, д-р техн. наук,  
**Ю.З. Фарзалиев**, канд. техн. наук, **Т.К. Рафиева**, канд. техн. наук  
Азербайджанский научно-исследовательский  
и проектно-изыскательский ин-т энергетики  
(Азербайджанская Республика, Az1012 Баку, пр. Г. Зардаби, 94,  
тел. (+99412) 4316407, e-mail: elmeht@rambler.ru)

## **Сравнительный анализ методов расчета интегральных показателей, характеризующих эффективность работы объектов ЭЭС**

Препятствием для расчета интегрального показателя (ИП), характеризующего эффективность работы одноименных объектов ЭЭС, является многомерность статистических данных, малый объем данных и разнотипность шкал измерения данных. Расчету ИП предшествует переход от абсолютных значений одноименных показателей к нормированным. Показано, что переход к нормированным значениям целесообразно проводить относительно медианы и размаха реализации. Проведена оценка значимости ИП с помощью функции желательности Харрингтона. Этот метод применен для характеристики технического состояния котельных установок энергоблоков 300 МВт на газомазутном топливе. Упрощение традиционного метода проведено посредством замены функции желательности Харрингтона функцией равномерного распределения нормированных показателей в интервале [1; +1]. Это позволило не только сохранить пятибалльную оценку технического состояния, но и естественно выбрать интервалов функции распределения.

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* интегральный показатель, надежность, экономичность, анализ, нормирование, котельная установка, функция распределения, функция желательности.

Перешкодою для розрахунку інтегрального показника (ІП), який характеризує ефективність роботи однойменних об'єктів ЕЕС, є багатовимірність статистичних даних, малий об'єм даних та різнотипність шкал вимірювання даних. Розрахунок ІП відбувається після переходу від абсолютних значень однойменних показників до нормованих. Показано, що перехід до нормованих значень доцільно проводити відносно медіани та розмаху реалізації. Дано оцінку значимості ІП за допомогою функції бажаності Харрингтона. Цей метод застосовано для характеристики технічного стану котельних установок енергоблоків 300 МВт на газомазутному паливі. Спрощення традиційного методу проведено через заміну функції бажаності Харрингтона функцією рівномірного розподілу нормованих показників в інтервалі [1; +1]. Це дозволило не тільки зберегти п'ятибальну оцінку технічного стану, але й природність вибору інтервалів функції розподілення.

*К л ю ч о в і с л о в а:* інтегральний показник, надійність, економічність, аналіз, нормування, котельна установка, функція розподілу, функція бажаності.

© Э.М. Фархадзаде, А.З. Мурадалиев, Ю.З. Фарзалиев, Т.К. Рафиева, 2017

**Постановка задачи.** Статистические данные эксплуатации, испытания и ремонта оборудования и устройств (объектов) электроэнергетических систем (ЭЭС) характеризуются большим числом признаков (факторов) и их разновидностей. Эти разновидности признаков (РП) формализованы в специальных классификаторах [1] и используются для характеристики индивидуальности объектов. Очевидно, что степень влияния РП на рассчитанные по этим данным показатели надежности (ПН), экономичности и безопасности (эффективности) объектов различна и неизвестна до проведения специальных исследований. В теории статистических вычислений такие данные называются многомерными. Примером одномерных данных является выборка случайных величин с заданным законом распределения. Случайные величины при бесконечно большом объеме выборки называются генеральной совокупностью. Это уточнение необходимо, так как применение статистических методов, предназначенных для выборок из генеральной совокупности, к выборкам из совокупности многомерных данных может привести к ошибочным результатам [2].

Таким образом, многомерность — одна из особенностей сведений, характеризующих эффективность работы объектов ЭЭС. Непременным условием существующих методов анализа многомерных данных является нормальный закон распределения случайных величин, который не характерен для статистических данных объектов ЭЭС [3].

Второй особенностью этих сведений является их малый объем и практическая невозможность его увеличения без существенного увеличения числа РП. Однако при увеличении РП в рассмотрение могут вводиться объекты, которые уже при первой проверке на целесообразность классификации будут исключены.

Третьей особенностью статистических данных эксплуатации, испытаний и ремонтов объектов ЭЭС является различие шкал размерностей и масштаба измерения РП. Рассмотрим эту особенность более подробно.

Срок службы объектов, число их отказов и длительность аварийного простоя измеряются по количественной шкале, но различаются по размерности и масштабу. К таким величинам могут применяться известные математические операции, например нормирование. Качество капитального ремонта оценивается по пятибалльной системе [4] и, следовательно, измеряется по порядковой шкале так же, как и усредненные последствия отказов объектов ЭЭС. Для чисел с порядковой шкалой измерения использование ряда математических операций не допускается. Например, лишены смысла считаются среднее арифметическое или среднее геометрическое значения числа баллов (рангов), характеризующих знания или качество ремонта. Такие признаки, как конструктивное исполнение, наименование предприятия и

другие измеряются в шкале наименований. При необходимости РП, измеряемым в шкале наименований, присваиваются номера (индексы). Эти РП имеют важное значение в характеристике индивидуальности объекта. Они позволяют избавиться от усредненных оценок ПН. Статистические данные с различной шкалой измерения РП называются разнотипными. Развитие методов анализа многомерных разнотипных данных является весьма актуальным [5].

Трудности, обусловленные многомерными разнотипными данными, возникают на этапе совершенствования управления объектом, например системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Для эффективного управления желательно учесть как можно больше признаков, а множество характеризующих их показателей (параметров) представить одним (интегральным) показателем [6].

С учетом изложенного можно утверждать, что решение эксплуатационных задач ЭЭС основано на результатах анализа или синтеза статистических данных. Цель такого анализа — переход от усредненных оценок ПН одноименных объектов к ПН групп одноименных объектов (кластеров) с последующим переходом к показателям индивидуальной надежности объектов. Особенности статистического анализа многомерных данных рассмотрены в [7]. Целью синтеза статистических данных является переход от показателей (параметров) объектов к интегральным показателям с последующим переходом к интегральному показателю (ИП) всей совокупности объектов.

**Расчет ИП эффективности работы объектов ЭЭС.** Методы синтеза сведений об одноименных объектах ЭЭС рассмотрим на примере среднемесячных значений технико-экономических показателей котельных установок (КУ) энергоблоков 300 МВт на газомазутном топливе. Результат сравнения эффективности работы КУ электростанции по одному показателю, возможно даже наиболее наглядному, не всегда отражает многомерный характер сведений о КУ.

Вычисление ИП выполняется в такой последовательности:

1. Подготавливаем эмпирическую таблицу, в строках которой размещаются независимые среднемесячные значения  $m_n$  технико-экономических показателей КУ за прошедший месяц, а в столбцах — порядковые (диспетчерские) номера КУ, число которых  $n$ . Возможность сопоставления одноименных показателей КУ энергоблоков, которые не могут быть сопоставлены, так как зависят, например, от продолжительности работы энергоблока, обеспечивается переходом к сравнению удельных показателей. Перечень рассматриваемых технико-экономических показателей КУ энергоблока 300 МВт и их среднемесячные оценки (\*) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Эксплуатационный показатель	Среднемесячная оценка технико-экономических показателей КУ энергоблоков							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Температура питательной воды $T_{п}$ , °С	235,2	203,3	244,2	236,8	239	237,8	241,4	243,5
Температура воздуха после регенеративного воздухоподогревателя $T_{в}$ , °С	274	247,5	289,9	278,9	290,6	283	289	286,6
Температура уходящих газов $T_{у.г}$ , °С	115,3	111,7	113,9	108,7	122,5	113,1	116,8	110,1
Коэффициент избытка воздуха $K_{в}$ , о.е.	1,18	1,17	1,17	1,2	1,17	1,2	1,09	1,23
Присос воздуха на тракте $\Delta S$ , %	37,2	35,4	40	38,7	44,7	36,3	43,1	35,8
КПД «Брутто» $\eta_6$ , %	91,34	91,74	91,45	91,24	91,53	91,19	91,6	91,41
Доля электроэнергии, расходуемой на собственные нужды станции $\mathcal{E}_{с.н}$ , %	2,82	2,93	2,31	2,74	2,44	2,36	2,28	2,07
Доля тепловой энергии, расходуемой на собственные нужды станции $Q_{с.н}$ , %	1,53	1,77	1,32	1,45	1,34	1,46	1,36	1,33
КПД «Нетто» $\eta_n$ , %	84,2	84,6	85,27	84,43	85,14	84,9	85,44	85,6

2. По данным табл. 1 определяем следующие технико-экономические показатели:

минимальные значения —  $\Pi_{j, \min}^* = \min \{\Pi_{i,j}^*\}_{n, m_n}$ ,  $i = 1, n$ ;  $j = 1, m_n$ ;

максимальные значения —  $\Pi_{j, \max}^* = \max \{\Pi_{i,j}^*\}_{n, m_n}$ ,  $i = 1, n$ ;  $j = 1, m_n$ ;

медиану реализаций —  $Md^*(\Pi_j^*) = 0,5(\Pi_{j, \min}^* + \Pi_{j, \max}^*)$ ,  $j = 1, m_n$ ;

размах реализаций —  $L^*(\Pi_j^*) = (\Pi_{j, \max}^* - \Pi_{j, \min}^*)$ ,  $j = 1, m_n$ .

Результаты расчетов  $\Pi_{j, \min}^*$ ,  $\Pi_{j, \max}^*$ ,  $Md^*(\Pi_j^*)$  и  $L^*(\Pi_j^*)$  приведены в табл. 2.

3. Вычисляем относительные значения технико-экономических показателей:

$$\delta \Pi_{i,j}^* = \frac{2[\Pi_{i,j}^* - Md^*(\Pi_j^*)]}{L^*(\Pi_j^*)}, \quad S = S_1, \quad \delta \Pi_{i,j}^* = \frac{2[Md^*(\Pi_j^*) - \Pi_{i,j}^*]}{L^*(\Pi_j^*)}, \quad S = S_2,$$

где  $i = 1, n$ ;  $j = 1, m_n$ ;  $S_i$  — индекс направленности изменения  $j$ -го технико-

экономического показателя. Если увеличение значения  $\Pi_j$  ведет к увеличению эффективности работы объекта, то  $S = S_1$ , в противном случае  $S = S_2$ . При этом, если  $S = S_1$  и  $\Pi_{i,j}^* = \Pi_{j,\min}^*$  или  $S = S_2$  и  $\Pi_{i,j}^* = \Pi_{j,\max}^*$ , то  $\delta\Pi_{i,j}^* = -1$ , если  $S = S_1$  и  $\Pi_{i,j}^* = \Pi_{j,\max}^*$  или  $S = S_2$  и  $\Pi_{i,j}^* = \Pi_{j,\min}^*$ , то  $\delta\Pi_{i,j}^* = 1$ . Таким образом, независимо от  $S_i$  величина  $\delta\Pi_{i,j}^*$  изменяется в интервале  $[-1; +1]$ .

Оценка  $S$  по экспериментальным данным за месяц работы не всегда очевидна. Более того, при малых значениях  $n$  она может оказаться ложной. Вычислить ее предлагается методом аналогий, суть которого состоит в следующем [8]. Выбирается показатель, изменение которого (уменьшение или увеличение) бесспорно символизирует об определенном изменении эффективности работы объекта. Например, таким показателем может быть выбран коэффициент полезного действия  $\eta_n$ , который назовем «контрольным». Затем вычисляются коэффициенты корреляции  $r_{i,j}$  между реализациями всех показателей, позволяющие удостовериться в безошибочности оценки их направленности и независимости, по формуле

$$r_{i,j}^* = \frac{\sum_{i=1}^n [\Pi_{i,j1}^* - M^*(\Pi_{i,j1}^*)][\Pi_{i,j2}^* - M^*(\Pi_{i,j2}^*)]}{\left\{ \sum_{i=1}^n [\Pi_{i,j1}^* - M^*(\Pi_{i,j1}^*)]^2 \right\}^{0,5} \left\{ \sum_{i=1}^n [\Pi_{i,j2}^* - M^*(\Pi_{i,j2}^*)]^2 \right\}^{0,5}}$$

$i = 1, n; \quad j1 = 1, \overline{m_n}; \quad j2 = 1, \overline{m_n}; \quad j1 \neq j2.$

Результаты расчета экспериментальных оценок коэффициентов корреляции между  $\eta_n$  и другими показателями, а также оценки  $S_j$  приведены в табл. 3.

Таблица 2

Показатель	$M_{\Sigma,k}^*(\Pi_i)$	$\Pi_{i,\min}^*$	$\Pi_{i,\max}^*$	$L_{\Sigma,k}^*(\Pi_i)$	$Md_{\Sigma,k}^*(\Pi_i)$
$T_{\Pi}$	235,155	203,3	244,2	40,9	223,75
$T_{\text{в}}$	279,94	247,5	290,6	43,1	269,05
$T_{\text{у.г}}$	114,013	108,7	122,5	13,8	115,6
$K_{\text{в}}$	1,176	1,09	1,23	0,14	1,16
$\Delta S$	38,9	35,4	44,7	9,3	40,05
$\eta_{\text{б}}$	91,44	91,19	91,74	0,55	91,47
$\Theta_{\text{с.н}}$	2,49	2,07	2,93	0,86	2,5
$Q_{\text{с.н}}$	1,45	1,32	1,77	0,45	1,55
$\eta_{\text{н}}$	84,95	84,43	85,6	1,17	85,02

В табл. 4 приведены результаты расчетов нормированных значений независимых показателей  $\delta \Pi_{i,j}^*$  по данным табл. 3 и значения интегрального показателя  $M^*(\delta \Pi_j^*)$ .

Поясним, почему нежелательно величину  $\delta \Pi_{i,j}^*$  рассчитывать относительно среднего арифметического значения реализаций технико-экономических показателей  $M^*(\Pi_j^*)$  по формуле

$$\delta \Pi_{i,j}^* = \frac{2(\Pi_{i,j}^* - M^*(\Pi_j^*))}{L^*(\Pi_j^*)}, \quad (1)$$

где  $M^*(\Pi_j^*) = n^{-1} \sum_{i=1}^n \Pi_{i,j}^*$ ,  $i=1, n$ ;  $j=1, m_\Sigma$ .

**3.1.** Поскольку  $[\Pi_{j,\max}^* - M^*(\Pi_j^*)]$  и  $[M^*(\Pi_j^*) - \Pi_{j,\min}^*]$  не равны, прежде всего, в силу асимметрии статистической функции распределения  $F^*[\Pi_j^*]$ , минимум одно значение  $\delta \Pi_{i,j}^*$  будет больше единицы, что обуславливает

Таблица 3

Значение $r_{i,j}^*$ для показателей							
$T_{\Pi}$	$T_{\text{в}}$	$T_{\text{у.г}}$	$K_{\text{в}}$	$\Delta S$	$\eta_{\text{б}}$	$\Xi_{\text{с.н}}$	$Q_{\text{с.н}}$
-0,506	-0,894	-0,482	-0,003	-0,217	0,320	-0,050	-0,524
$S_1$	$S_1$	$S_2$	$S_2$	$S_2$	$S_1$	$S_2$	$S_2$

Таблица 4

Показатель	Значение $\delta \Pi_{i,j}^*$ для КУ энергоблоков							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_{\Pi}$	0,562	-1	1	0,638	0,746	0,687	0,863	0,966
$T_{\text{в}}$	0,23	-1	0,968	0,457	1	0,647	0,926	0,814
$T_{\text{у.г}}$	0,043	0,565	0,246	1	-1	0,362	-0,174	0,797
$K_{\text{в}}$	-0,282	-0,085	-0,085	-0,606	-0,085	-0,606	1	-1
$\Delta S$	0,613	1	0,011	0,29	-1	0,806	-0,656	0,914
$\eta_{\text{б}}$	-0,455	1	-0,055	-0,818	0,236	-1	0,491	-0,2
$\Xi_{\text{с.н}}$	-0,744	-1	0,442	-0,558	0,14	0,326	0,512	1
$Q_{\text{с.н}}$	0,067	-1	1	0,422	0,911	0,378	0,822	0,956
$\eta_{\text{н}}$	-1	-0,436	0,534	-0,673	0,339	0,004	0,767	1
$M^*(\delta \Pi_j^*)$	-0,107	-0,217	0,451	0,0169	0,143	0,178	0,5057	0,583

введение в расчет элемента неопределенности интервала изменения  $\delta \Pi_{i,j}^*$ ,  $i = 1, n; j = 1, m_\Sigma$ , т.е. масштаб величин технико-экономических показателей будет различным.

**3.2.** Оценка  $M^*(\Pi_j^*)$  по формуле (1) не всегда соответствует усредненному значению  $M_{\text{ст}}^*(\Pi_j^*)$  показателя  $\Pi_j^*$  для всех одноименных объектов. Как правило, при оценке ИП удельного расхода условного топлива, коэффициента полезного действия, а также коэффициента технического использования, коэффициента готовности и других параметров  $M^*(\Pi_j^*) \neq M_{\text{ст}}^*(\Pi_j^*)$ .

**4.** Вычисляем ИП по формуле

$$M_i^*(\delta \Pi_i^*) = m_n^{-1} \sum_{j=1}^{m_n} \delta \Pi_{i,j}^*, \quad (2)$$

где  $i = 1, n; j = 1, m_n$ .

Ранжировка  $M_i^*(\delta \Pi_i^*)$  при  $i = 1, n$  и ранжировка порядковых (диспетчерских) номеров КУ позволяет разбить группу из  $n$  КУ на две подгруппы. Для первой подгруппы  $M_i^*(\delta \Pi_i^*) < 0$ , а для второй —  $M_i^*(\delta \Pi_i^*) > 0$ . К недостаткам этого метода, как правило, относится следующее:

предполагается, что важность и приоритетность технико-экономических показателей КУ одинакова;

классификация объектов на две подгруппы не всегда достаточна.

Трудность учета приоритетности показателей связана, прежде всего, с необходимостью ранжировать технико-экономические показатели каждой КУ. Такую ранжировку предлагается проводить по оценкам относительных значений размаха технико-экономических показателей  $C_j$ , вычисляемых по формуле

$$C_j = \frac{L_i^*(\Pi_j^*)}{\Pi_{i,\max}^*}, \quad j = 1, m_n. \quad (3)$$

При этом чем выше приоритетность технико-экономического показателя, тем больше усилий вкладывает персонал в его стабильность, а следовательно, меньше величина его относительного отклонения.

Преобразуем формулу (2) к виду

$$M^*(\gamma \Pi_j^*) = \sum_{j=1}^{m_\Sigma} \gamma \Pi_{i,j}^*.$$

Здесь  $\gamma\Pi_{i,j}^* = \beta_j\delta\Pi_{i,j}^*$ , где  $\beta_j$  — коэффициент приоритетности  $j$ -го показателя,

$$\beta_j = \frac{1-C_j}{\sum_{j=1}^{m_n} (1-C_j)}.$$

Результаты расчетов коэффициента приоритетности технико-экономических показателей  $C_j$  приведены в табл. 5, из которой следует, что наиболее приоритетным является параметр  $\eta_6$ . Нормированные значения технико-экономических показателей с учетом их приоритетности  $\gamma\Pi_{i,j}^*$  и оценки ИП ( $M^*(\gamma\Pi_j^*)$ ) приведены в табл. 6.

Сопоставление результатов ранжирования КУ по данным табл. 4 и 6 свидетельствует об их идентичности, т.е. о незначительном влиянии величины  $\beta$  технико-экономических показателей КУ. Это можно объяснить тем, что наибольшее расхождение нормированных показателей  $\gamma\Pi_{i,j}^*$  равно двум, а коэффициента приоритетности  $\beta$  равно 0,37, т.е. почти в шесть раз меньше.

Упорядочение КУ является необходимым, но недостаточным условием для подготовки соответствующих рекомендаций персоналу электростанции, так как оценки  $M_i^*(\delta\Pi_i^*)$  не свидетельствуют об абсолютной значимости наблюдаемых отклонений. Например, отклонения могут быть и для группы объектов, технико-экономические показатели которых удовлетворяют предъявляемым требованиям. Преодоление этой неопределенности на практике достигается применением функции желательности Харрингтона [2]

$$d_{i,j}^* = \exp[-\exp(-\gamma\Pi_{i,j}^*)], \quad i = 1, n; \quad j = 1, m_n. \quad (4)$$

Таблица 5

Показатель	$C_j$	$\beta_j$
$T_{\Pi}$	0,168	0,108
$T_{\text{в}}$	0,148	0,111
$T_{\text{у.г}}$	0,113	0,116
$K_{\text{в}}$	0,114	0,115
$\Delta S$	0,208	0,103
$\eta_6$	0,006	0,129
$\mathcal{E}_{\text{с.н}}$	0,2494	0,092
$\mathcal{Q}_{\text{с.н}}$	0,254	0,097
$\eta_{\text{н}}$	0,014	0,128



Коэффициент желательности для каждой КУ вычисляется по формуле

$$D_i^* = m_n \sqrt[m_n]{\prod_{j=1}^{m_n} d_{i,j}^*}, i=1, n,$$

как среднее геометрическое значение реализаций  $d_{i,j}^*$  с учетом коэффициента приоритетности  $\beta_j$ . Интегральный показатель желательности всех КУ электростанции вычисляется как среднее геометрическое реализаций  $D_i^*, i=1, n$  по формуле  $D_{\Sigma}^* = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n D_i^*}$ . Результаты расчетов  $\{d_{i,j}^*\}_{n,m_n}$  и  $D_i^*, i=1, n$ , приведены в табл. 7.

В табл. 8 представлена шкала желательности Харрингтона, позволяющая сопоставить техническое состояние (ТС) КУ. Сопоставляя значения  $d_{i,j}^*, i=1, n, j=1, m_n, D_i^*, i=1, n$  и  $D_{\Sigma}^*$  с данными табл. 8, можно оценить следующее:

- соответствие эффективности работы КУ предъявляемым требованиям;
  - выявить «слабые звенья» КУ;
  - ранжировать КУ по величине  $D_i^*, i=1, n$ , для уточнения распределения нагрузки;
  - установить перечень КУ, требующих особого внимания и контроля ТС.
- В частности, по данным табл. 7 и 8 КУ2 относится к группе опасных, что согласуется с данными табл. 4 и 7. Техническое состояние всех остальных

Таблица 6

Показатель	Нормированные значения техничко-экономических показателей для КУ энергоблоков							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_{\Pi}$	0,0609	-0,1084	0,1084	0,0691	0,0808	0,0744	0,0935	0,1046
$T_{\text{в}}$	0,0255	-0,1109	0,1073	0,0507	0,0111	0,0717	0,1027	0,0902
$T_{\text{у.г}}$	0,0050	0,0626	0,0284	0,1155	-0,1155	0,0418	-0,0201	0,0920
$K_{\text{в}}$	-0,0325	-0,0098	-0,0098	-0,0699	-0,0098	-0,0699	0,1153	-0,115
$\Delta S$	0,0632	0,103	0,0011	0,0299	-0,1030	0,0083	-0,0676	0,0942
$\eta_{\text{б}}$	-0,0589	0,1294	-0,0071	-0,1058	0,0305	-0,1294	0,0635	-0,0259
$\Xi_{\text{с.н}}$	-0,0684	-0,0919	0,0406	-0,0513	0,0129	0,0299	0,0471	0,0919
$Q_{\text{с.н}}$	0,0065	-0,0970	0,0970	0,0409	0,0884	0,0366	0,0798	0,0928
$\eta_{\text{н}}$	-0,1284	-0,0559	0,0685	-0,0864	0,0435	0,0005	0,0984	0,0128
$M^* (\gamma \Pi_j^*)$	-0,1272	-0,1789	0,4346	-0,0073	0,1386	0,1389	0,5127	0,5531

ных КУ относится к группе с допустимыми значениями технико-экономических показателей.

Следует заметить, что оценка КУ может быть выполнена и несколько иначе. Степень соответствия КУ предъявляемым требованиям устанавливается по табл. 9, которая, по сути, аналогична оценкам желательности Харрингтона. В ней также пять интервалов и пятибалльная система оценок, однако отсутствует необходимость в некоторой трансформации интервалов, обусловленных формулой (4) [2]. Они имеют единичную длину, равную 0,2.

Наряду с оценкой степени соответствия ТС КУ предъявляемым требованиям можно дать некоторые рекомендации по повышению надежности и экономичности работы. Взаимосвязь между  $\delta\Pi_{i,j}^*$  и интервалами

Таблица 7

Показатель	Значение $d_{i,j}^*$ и $D_i^*$ для КУ энергоблоков							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_{п}$	0,3902	0,328	0,4076	0,3932	0,3975	0,3952	0,4022	0,4063
$T_{в}$	0,3772	0,3271	0,4072	0,3865	0,4085	0,3942	0,4055	0,4010
$T_{у.г}$	0,3697	0,3909	0,3783	0,3721	0,3254	0,3832	0,3604	0,4016
$K_{в}$	0,3559	0,3642	0,3642	0,3421	0,3642	0,3421	0,4102	0,3255
$\Delta S$	0,3911	0,4057	0,3652	0,329	0,3791	0,3204	0,3912	0,3583
$\eta_{б}$	0,3462	0,4153	0,3652	0,3290	0,3791	0,3204	0,3912	0,3583
$\Xi_{с.н}$	0,3427	0,3340	0,3828	0,3490	0,3726	0,3789	0,3851	0,4016
$Q_{с.н}$	0,3702	0,3322	0,4035	0,3829	0,4003	0,3813	0,3972	0,4019
$\eta_{н}$	0,3207	0,3472	0,3930	0,3361	0,3838	0,3680	0,4040	0,4149
$D_i^*$	0,3620	0,3591	0,3852	0,3626	0,3724	0,3727	0,3881	0,3894

Таблица 8

Оценка желательности		Шкала Харрингтона	ТС КУ
количественная	качественная		
1	Критическое (очень плохо)	0 – 0,20	—
2	Опасное (плохо)	0,20 – 0,36	КУ2
3	Допустимое (удовлетворительно)	0,36 – 0,63	КУ1, КУ3–КУ8
4	Приемлемое (хорошо)	0,63 – 0,80	—
5	Фоновый (очень хорошо)	0,80 – 1,00	—

функции распределения (в данном случае  $F_i^*(\delta\Pi_{i,j}^*)$ ) установим исходя из следующих начальных условий:

если  $\delta\Pi_{i,j}^* = -1$ , то  $F_i^*(\delta\Pi_{i,j}^*) = 0$ ,

если  $\delta\Pi_{i,j}^* = +1$ , то  $F_i^*(\delta\Pi_{i,j}^*) = 1$ ,

если  $\delta\Pi_{i,j}^* = 0$ , то  $F_i^*(\delta\Pi_{i,j}^*) = 0,5$ .

Эта взаимосвязь имеет вид

$$F_i^*(\delta\Pi_{i,j}^*) = 0,5(\delta\Pi_{i,j}^* + 1), \quad i = 1, n; \quad j = 1, m_n, \quad (5)$$

и позволяет упростить контроль ТС, а именно:

если  $\delta\Pi_{i,j}^* > 0,2$ , то соответствующий ему  $j$ -й технико-экономический показатель характеризуется не менее чем хорошей оценкой;

если  $\delta\Pi_{i,j}^* < -0,2$ , то соответствующий ему  $j$ -й технико-экономический показатель не удовлетворяет предъявляемым требованиям;

если  $-0,2 \leq \delta\Pi_{i,j}^* \leq 0,2$ , то соответствующий ему  $j$ -й технико-экономический показатель оценивается как удовлетворительный.

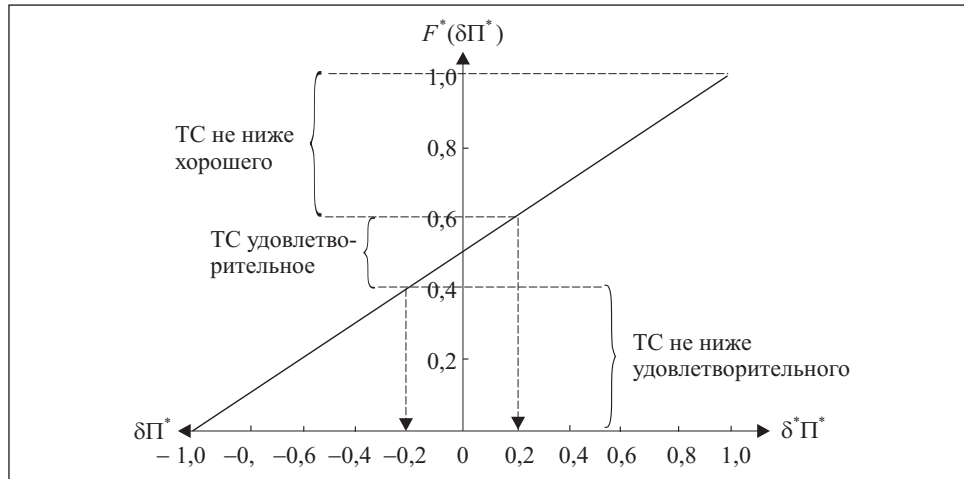
Эти рекомендации позволяют уточнить по табл. 4 «слабые звенья» КУ. В частности, несоответствующими предъявляемым требованиям следует считать не все отрицательные значения  $\delta\Pi_{i,j}^*$ , а лишь те, которые меньше чем  $-0,2$ . Взаимосвязь  $\delta\Pi_{i,j}^*$  и  $F_i^*(\delta\Pi_{i,j}^*)$  графически представлена на рисунке.

Расчет ИП, характеризующего ТС конкретной КУ, выполняем по формуле

$$F_i^*(\delta\Pi_i^*) = m_n^{-1} \sum_{j=1}^{m_n} F_i^*(\delta\Pi_{i,j}^*), \quad i = 1, n, \quad (6)$$

Таблица 9

Качественная оценка	Интервал функции распределения $F_i^*(\delta\Pi_{i,j}^*)$	Рекомендации персоналу по ТОиР
Недопустимое	0 – 0,20	Вывод на аварийный ремонт. Переподготовка оперативного персонала
Дефектное	0,21 – 0,40	Повышение квалификации персонала. Вывод в резерв. Устранение недостатков. Подготовка к выводу в ремонт
Удовлетворительное	0,41 – 0,60	Повышение эффективности контроля качества управления режимами работы КУ
Хорошее	0,61 – 0,80	Устранение отдельных недостатков КУ
Показательное	0,81 – 1,00	Сохранение принятого уровня ТОиР



а расчет ИП, характеризующего все КУ электростанции, — по формуле

$$F_{\Sigma}^*(\delta\Pi^*) = n^{-1} \sum_{i=1}^n F^*(\delta\Pi_i^*).$$

В табл. 10 приведены результаты расчета вероятности  $F^*(\delta\Pi_{i,j})$  по данным табл. 4 и по формуле (5), а также результаты расчета ИП  $F^*(\delta\Pi_i)$ , вычисляемого по формуле (6). Сопоставляя интегральные показатели со шкалой, приведенной в табл. 9, нетрудно заметить некоторое уточнение

Таблица 10

Показатель	Значение $F^*(\delta\Pi_{i,j})$ для КУ энергоблоков							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_{\text{п}}$	0,781	0	1	0,819	0,873	0,8435	0,9315	0,983
$T_{\text{в}}$	0,615	0	0,984	0,7285	1	0,8235	0,963	0,907
$T_{\text{у.г}}$	0,5215	0,7825	0,623	1	0	0,681	0,413	0,8985
$K_{\text{в}}$	0,359	0,4575	0,4575	0,197	0,4575	0,197	1	0
$\Delta S$	0,8065	1	0,5055	0,645	0	0,903	0,172	0,957
$\eta_{\text{б}}$	0,2725	1	0,4725	0,091	0,618	0	0,7455	0,4
$\Xi_{\text{с.н}}$	0,128	0	0,721	0,221	0,57	0,663	0,756	1
$Q_{\text{с.н}}$	0,5335	0	1	0,711	0,9555	0,689	0,911	0,978
$\eta_{\text{н}}$	0	0,282	0,767	0,1635	0,6695	0,502	0,8835	1
$F^*(\delta\Pi_i^*)$	0,4463	0,3913	0,7256	0,5084	0,5715	0,5891	0,7528	0,7915

ТС КУ. По данным табл. 9 оценка ТС не изменялась, КУ1, КУ2, КУ4, КУ5 и КУ6 также отнесены к группе с удовлетворительным ТС. Однако КУ3, КУ7 и КУ8 отнесены к группе с хорошим ТС. Видимо, это справедливо, так как КУ3 вообще не имеет «слабых звеньев», а КУ7 и КУ8 имеют лишь одно «слабое звено», а именно подсос воздуха на тракте и избыток воздуха, которые были отнесены ранее к наименее приоритетным показателям.

### Выводы

Основными этапами автоматизированного расчета ИП являются представление исходных данных в виде эмпирической таблицы, преобразование этой таблицы в матрицу нормированных показателей, оценка ИП, оценка значимости ИП, формирование рекомендаций.

Расчет приоритетности технико-экономических показателей следует проводить по относительной величине размаха их измерения, что позволяет сохранить суть приоритета.

Полученные результаты расчетов позволяют конкретизировать «слабые звенья» объектов (показатели, нормированные значения которых меньше – 0,2); сопоставить надежность и экономичность основных узлов одноименных объектов и реализовать рекомендации по улучшению соответствующих технико-экономических показателей; сопоставить надежность и экономичность одноименных объектов электростанции и отдельных электростанций; рекомендовать способ ранжировки КУ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 34.08.554. Сводный классификатор электрической части электростанций, электрических и тепловых сетей. Служба передового опыта ОРГРЭС. — М. : СПО ОРГРЭС, 1991. — 104 с.
2. Орлов А.И. Новая парадигма анализа статистических и экспериментальных данных в задачах экономики и управления // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — № 98 (04). — С. 1—21.
3. Фархадзаде Э.М., Фарзалиев Ю.З., Мурадалиев А.З., Рафиева Т.К. Повышение надежности и экономичности котельных установок блочных электростанций. Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики // Сб. науч. статей. Вып. 66. Актуальные проблемы надежности систем энергетики / Отв. ред. Н.И. Воропай, М.А. Короткевич, А.А. Михалевич. — Минск: БНТУ, 2015. — С. 404—410.
4. Стандарт организации ОАО РАО «ЕЭС России» «Тепловые и гидравлические электростанции». Методика оценки качества энергетического оборудования. Основные положения. Приказ 23.04.2007 №275. Центр безопасности труда. г. Челябинск.
5. Дмитриев В.В. Определение интегрального показателя состояния природного объекта как сложной системы // Общество, среда, развитие (Terra Humana). — 2009. — № 4. — С. 146—165.
6. Федюкин В.К. Управление качеством технологических процессов. — М. : КНОРУС, 2013. — 232 с.

7. Фархадзаде Э.М., Фарзалиев Ю.З., Мурадалиев А.З., Абдуллаева С.А. Совершенствование методов повышения надежности объектов электроэнергетических систем // Электричество. — 2016. — № 8. — С. 18—28.
8. Farzaliyev Y.Z. Comparison of ways of normalization at classification of initial data // Reliability: Theory & applications. — 2014. — Vol. 9, No 2 (33). — P. 50—56.
9. Fedorcenko S.G., Fedorcenko G.S. Интегральная мера оценок состояния энергетической безопасности // Проблемы региональной энергетики. — 2014. — 1 (24). — С. 1—16.

Поступила 14.12.16;  
после доработки 30.01.17

#### REFERENCES

1. RD 34.08.554, (1991), *Svodnyi klassifikator elektricheskoy chasti elektrostantsiy, elektricheskikh i teplovykh setey* [Summary qualifier of electric part of power plants, electric and thermal networks. Service of the best practices of ORGRES], SPO ORGRES, Moscow, Russia.
2. Orlov, A.I. (2014), “A new paradigm of the analysis of statistical and experimental data in problems of economy and management”, *Scientific journal of KubGAU*, no. 98(04), pp. 1-21.
3. Farhadzadeh, E.M., Farzaliyev, Y.Z., Muradaliyev, A.Z. and Rafiyeva, T.K. (2015), “Increase of reliability and profitability of boiler installations of block power plants. Methodical questions of research of reliability of big systems of power”, *Sbornik nauchnykh statei. Aktualnyye problemy nadyozhnosti system energetiki*, Iss. 66, responsible eds Voropay, N.I., Korotkevich, M.A., Mikhalevich, A.A., BNTU, Minsk, Iss. 66, pp. 404-410.
4. Standard of the JSC RAO UES of Russia organization “Thermal and hydraulic power plants” (2007), Technique of an assessment of quality of the power equipment. Basic provisions. Order 23.04.2007, no. 275. Center of labor safety, Chelyabinsk, Russia.
5. Dmitriyev, V.V. (2009), “Determination of an integrated indicator of the condition of natural object as a composite system”, *Obshchestvo, sreda, razvitie (Terra Humana)*, no. 4, pp. 146-165.
6. Fedyukin, V. (2013), *Upravlenie kachestvom tekhnologicheskikh protsessov* [Control of quality of technological processes], KNORUS, Moscow, Russia.
7. Farkhadzadeh, E.M., Farzaliyev, Y.Z., Muradaliyev, A.Z. and Abdullaeva, S.A. (2016), “Improvement of methods of increasing reliability of the objects of electrical power systems”, *Elektrichestvo*, no. 8, pp. 18-28.
8. Farzaliyev, Y.Z. (2014), “Comparison of ways of normalization at classification of initial data”, *Reliability: Theory & Applications*, Vol. 9, no. 2(33), pp. 50-56.
9. Fedorcenko, S.G. and Fedorcenko, G.S. (2014), “Integrated measure of estimates of the state of energy safety”, *Problem of Regional Power*, no. 1(24), pp. 1-16.

Received 14.12.16;  
After revision 30.01.17

E.M. Farkhadzadeh, A.Z. Muradaliyev, Y.Z. Farzaliyev, T.K. Rafiyeva

#### COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR CALCULATION OF THE INTEGRATED INDICATORS CHARACTERIZING OPERATIONAL EFFICIENCY OF EPS OBJECTS

Obstacle for calculation of the integrated indicator (II) characterizing operational efficiency of the EPS objects of the same name is multidimensionality of statistical data, small volume of data and different types of scales of data measurement. Calculation of II is preceded by transition from absolute values of the indicators of the same name to rated ones. It is shown that it is expedient to

perform the transition to rated values concerning a median and scope of realization. The assessment of the II significance by means of the Harrington desirability function has been carried out. This method has been applied to the characteristic of technical condition of boiler installations of power units of 300 MW on oil-gas fuel. The traditional method was simplified by means of replacement of Harrington desirability function with the function of uniform distribution of rated indicators in an interval [1; +1]. It allowed not only keeping a five-point assessment of technical condition, but also natural character of choosing the intervals of distribution function.

*Key words: integrated indicator, reliability, profitability, analysis, rationing, boiler installation, distribution function, desirability function.*

*ФАРХАДЗАДЕ Эльмар Мехтиевич, д-р техн. наук, профессор, гл. науч. сотр. Азербайджанского научно-исследовательского и проектно-изыскательского ин-та энергетики (г. Баку). В 1961 г. окончил Азербайджанский ин-т нефти и химии. Область научных исследований — надежность и эффективность электроэнергетических систем.*

*МУРАДАЛИЕВ Айдын Зураб оглу, д-р техн. наук, руководитель отдела «Надежность энергетического оборудования» Азербайджанского научно-исследовательского и проектно-изыскательского ин-та энергетики (г. Баку). В 1982 г. окончил Азербайджанский ин-т нефти и химии. Область научных исследований — количественная оценка индивидуальной надежности оборудования и устройств электроэнергетических систем.*

*ФАРЗАЛИЕВ Юсиф Зейни оглу, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. отдела «Надежность энергетического оборудования» Азербайджанского научно-исследовательского и проектно-изыскательского ин-та энергетики (г. Баку). В 1985 г. окончил Азербайджанский госуниверситет. Область научных исследований — точность и достоверность оценок показателей индивидуальной надежности оборудования и устройств энергетических систем.*

*РАФИЕВА Тамара Каировна, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. отдела «Надежность оборудования энергосистемы» Азербайджанского научно-исследовательского и проектно-изыскательского ин-та энергетики (г. Баку). В 1973 г. окончила Азербайджанский ин-т нефти и химии. Область научных исследований — имитационное моделирование индивидуальной надежности энергоблоков ТЭС.*

