

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-20-26>

УДК 621.019

## Методические основы сопоставительного анализа уникальных объектов электроэнергетических систем

**Фархадзаде Э. М.\*, Мурадалиев А. З., Ашурова У. К.**

*Азербайджанский Научно-Исследовательский и Проектно-Изыскательский Институт Энергетики  
пр. Г. Зардаби 94, г. Баку, Азербайджанская Республика*

Поступила / Received 8.02.2021

Принята к печати / Accepted for publication 02.03.2021

Одной из основных проблем электроэнергетических систем является отсутствие нормативных документов, регламентирующих эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт основного оборудования, срок службы которого превышает нормативное значение. Назовем их «стареющими объектами» (СО). Трудности сводятся к отсутствию методологий количественной оценки оперативной надежности и безопасности СО с последующим их сопоставительным анализом. Научоемкость, громоздкость и трудоемкость решения этой проблемы обуславливают необходимость разработки соответствующих автоматизированных систем. Рассмотрены некоторые особенности оценки интегрального показателя и сопоставительного анализа уникальных объектов, аналоги которых по заданному сочетанию разновидностей значимых признаков отсутствуют. Рассматриваются методические основы синтеза интегральных показателей: обеспечение безошибочности информационной базы; требования к оценкам интегральных показателей; обеспечение физической сущности интегрального показателя; возможные разновидности интегральных показателей; сравнение интегральных показателей оперативной эффективности работы в рамках теории проверки статистических гипотез для одномерных случайных величин связано с большим риском ошибочного решения; оценка критических значений интегрального показателя проводится на основе имитационного моделирования в рамках фидуциального подхода.

Разработка автоматизированных систем сбора и формализации данных о техническом состоянии СО, автоматизированный анализ и синтез этих данных, выполнение нормирования ТЭП, оценка интегральных показателей и некоторые результаты сопоставительного анализа, подготовка оперативных рекомендаций по повышению эффективности работы, разработка соответствующих методических указаний свидетельствуют о возможности объективной оценки оперативной эффективности СО и снижении риска возникновения недопустимых последствий. В рекомендуемых методах и алгоритмах использованы технико-экономические показатели энергоблоков ПГУ-400.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сопоставительный анализ, уникальный объект, оперативная эффективность, интегральный показатель, техническое состояние

### **Адрес для переписки:**

Фархадзаде Э. М.  
Азербайджанский Научно-Исследовательский и Проектно-Изыскательский Институт Энергетики  
пр. Г. Зардаби 94, г. Баку, Азербайджанская Республика  
e-mail: elmeht@rambler.ru

### **Address for correspondence:**

Farhadzadeh E. M.  
Azerbaijan Scientific-Research and Design-Prospecting Institute of Energetic  
AZ1012, Ave. H. Zardabi-94, Baku, Azerbaijan  
e-mail: elmeht@rambler.ru

### **Для цитирования:**

Фархадзаде Э. М., Мурадалиев А. З., Ашурова У. К. Методические основы бенчмаркинга уникальных объектов электроэнергетических систем. *Надежность и безопасность энергетики*. 2021. – Т. 14, №1 – С. 20–26.  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-20-26>

### **For citation:**

Farhadzadeh E. M., Muradaliyev A. Z., Ashurova U. K. [Methodological basis of comparative analysis of unique facilities of electric power systems]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2021. vol. 14, no. 1, pp. 20–26 (in Russian).  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-20-26>

# Methodological basis of comparative analysis of unique facilities of electric power systems

**Farhadzadeh E. M. \*, Muradaliyev A. Z., Ashurova U. K.**

*Azerbaijan Scientific-Research and Design-Prospecting Institute of Energetic  
AZ1012, Ave. H. Zardabi-94, Baku, Azerbaijan*

One of the basic problems of electric power systems is the absence of normative documents regulating the operation, maintenance and repair of the capital equipment, the service life of which exceeds the normative value. We shall name them «old equipment» (OE). The essence of the difficulties to be overcome is reduced to the absence of methodologies for quantitative estimation of operational reliability and safety of OE, with the subsequent comparative analysis of OE. Considering the science intensity, cumbersomeness and labour intensity of solving this problem, the necessity of development of the relevant automated systems becomes indisputable. In this article, some features are considered of an estimation of an integral indicator and comparative analysis of unique facilities. Here, unique facilities mean those, which have no analogues in terms of the set combination of varieties of significant attributes. The methodological foundations of the synthesis of integral indicators are considered: ensuring the infallibility of the information base; requirements to evaluations of integral indicators; providing the physical essence of the integral indicator; possible types of integral indicators; the comparison of integral indicators of operational efficiency in the framework of the theory of testing statistical hypotheses for one-dimensional random variables is associated with a high risk of erroneous decisions; the assessment of the critical values of the integral indicator is carried out on the basis of simulation modeling within the framework of the fiducial approach.

The development of automated systems for collecting and formalizing data on the technical condition of OE, the automated analysis and synthesis of these data, performing standardization of TEI, evaluating integral indicators and some results of comparative analysis, preparing operational recommendations to improve work efficiency, developing appropriate methodological guidelines, indicate the possibility of an objective assessment of the operational efficiency of OE and a decrease in the risk of unacceptable consequences. For an illustration of recommended methods and algorithms, technical and economic parameters of power units with SGI-400 are used.

**KEYWORDS:** comparative analysis, unique facility, operational efficiency, integral indicator, analysis, synthesis, technical condition

## 1. Актуальность проблемы

Одной из основных проблем электроэнергетических систем (ЭЭС) является повышение оперативной эффективности работы (ОЭР) основного оборудования, устройств и установок (объектов), срок службы которых приблизительно равен или превышает расчетный (номинальный, парковый). Назовем их «стареющими объектами» (СО). Эта проблема не нова. Хорошо известны недопустимые последствия системных аварий, причиной которых является СО. Гибель и травмирование персонала ЭЭС, нарушение экологии и большие материальные затраты часто объясняются изменением климата. Несмотря на то что наблюдается систематическое увеличение во многих ЭЭС относительного числа СО (в настоящее время эта величина превышает 60%), проблема остается нерешенной.

Рассмотрим некоторые особенности данной проблемы.

- Эффективность работы объектов ЭЭС в современном понимании — это комплексное (интегральное) понятие, включающее наряду с экономичностью работы надежность и безопасность обслуживания. Хотя эти свойства учитывались и ранее, однако количественно оценивалась лишь экономическая составляющая ОЭР.

- Количественная оценка оперативной надежности работы и опасности обслуживания не проводилась.

Так, в стандарте СТО 70238424.27.040.007-2009 отмечается: «в пределах гарантированного срока изготовитель (поставщик) несет ответственность за скрытые, а в случаях, предусмотренных договором, и за явные дефекты».

- При завершении гарантированного срока службы объекта отношение к характеристике ОЭР не изменяется, так как отсутствует соответствующая нормативная база технического обслуживания и ремонта СО. Обычно показатели надежности рассчитывают на этапе проектирования объектов на основе априорной информации об отказах, дефектах и длительности восстановления поврежденных однотипных объектов. Теперь требуется оценить оперативную надежность работы в течение прошедшего месяца, недели, суток и даже смены. Если количественную оценку надежности работы можно оценить на стадии проектирования, то опасность обслуживания всегда, в том числе и при проектировании, оценивается только на качественном уровне.

- Рассчитывать необходимо количественную оценку именно опасности обслуживания, а не безопасности, так как безопасность или есть, или ее нет. Изменяется лишь опасность.

- Количественная оценка экономичности и надежности работы, как и опасности обслуживания, необходима для оперативного сравнения и ранжирования объектов ЭЭС. В экономике этот анализ принято назы-

вать сопоставительным анализом, когда сопоставляются многочисленные свойства объектов и на основе этого сопоставления осуществляется повышение эффективности их работы. Число сопоставляемых показателей исчисляется десятками. Результаты ранжирования здесь во многом субъективны, а риск принятия ошибочного решения велик.

- Сравнение и ранжирование ОЭР объектов ЭЭС существенно упрощается при переходе к интегральному показателю. Но снижение риска ошибочного решения достигается лишь в том случае, если интегральный показатель характеризует техническое состояние объекта.

- Применение известного интегрального показателя Харрингтона получило широкое распространение во многих отраслях материального производства и в сфере услуг, что свидетельствует об актуальности интегрального оценивания. Однако интегральный показатель Харрингтона вычисляется как среднее геометрическое вероятностей реализаций множества показателей и потому он лишен физического смысла. В [1] сказано: «Методика расчета становится черным ящиком, который выдает числа, лишённые физического смысла».

Одним из возможных путей частичного преодоления трудностей решения данной проблемы силами персонала ЭЭС являются рекомендации Резинских В. Ф., суть которых сводится к организации при отраслевых научно-исследовательских институтах энергетики центров по обеспечению ОЭР объектов ЭЭС. Центр осуществляет сбор и анализ статистических данных о техническом состоянии оборудования, отказах, ремонтах; выявление факторов, влияющих на ОЭР; разработку мероприятий по повышению ОЭР; организацию повышения квалификации персонала; проведение сопоставительного анализа.

Практическая реализация этих рекомендаций, несомненно, имела бы положительные результаты. Но решить проблему с их помощью невозможно по двум причинам:

- 1) отсутствуют методы количественной оценки интегрального показателя ОЭР объектов;
- 2) отсутствуют критерии проверки гипотез о характере расхождения этих показателей.

## 2. Методические основы синтеза интегральных показателей ОЭР объектов ЭЭС

Будем различать однотипные, сходные и уникальные объекты ЭЭС. К однотипным относятся объекты, характеризующиеся одной и той же совокупностью разновидностей значимых признаков. Сходными будем считать объекты, характеризующиеся одними и теми же выборками разновидностей значимых признаков из их совокупности. К уникальным относятся объекты, аналоги которых по заданным разновидностям признаков отсутствуют.

Примером однотипных объектов могут быть энергоблоки электростанций, их основное оборудование,

устройства и установки, примером сходных объектов — выключатели распределительных устройств (линейные, шинные, блочные), а примером уникального объекта является единственный в ЭЭС паротурбинный энергоблок 500 МВт. Такая классификация объектов свидетельствует о том, что задачи сопоставительного анализа, методы и алгоритмы их решения многочисленны. И эта особенность обуславливает одну из трудностей решения проблемы совершенствования управления ОЭР ЭЭС.

Однако у этих методов и алгоритмов есть следующие общие черты:

- *Обеспечение безошибочности информационной базы.* Это одна из важнейших задач автоматизированной системы оперативного сопоставительного анализа объектов. Информация о техническом состоянии объектов ЭЭС формируется по данным ежемесячных отчетов предприятий ЭЭС (например, форма 3-ТЕХ энерго), протоколов испытания и ремонтов, диспетчерских журналов. Естественно, эти данные существенно отличаются от перечня используемых при сопоставительном анализе расчетных показателей, а преобразование исходных данных является одним из возможных источников ошибок. Рекомендуемые методы и алгоритмы обеспечения безошибочности исходных данных, как и безошибочности базы данных в целом, приведены в [2], а способы контроля безошибочности расчетных технико-экономических показателей (ТЭП) — в [3].

- *Требования к оценкам интегральных показателей.* Наряду с безошибочностью исходных данных метод расчета должен обеспечивать объективность, физическую суть и доступность практического использования интегрального показателя. Одной из основных причин, искажающих оценку интегрального показателя по безошибочным исходным данным, является наличие взаимосвязанных ТЭП, т. е. некоторое конкретное свойство объекта может быть представлено несколькими взаимосвязанными показателями. При этом неоправданно увеличивается значимость (относительная величина, характеризующая техническое состояние) этого свойства, что приводит к искажению интегрального показателя. Методы решения этой задачи разработаны для одномерных случайных величин и ряда ограничений, к которым относятся соответствие распределения случайных величин нормальному закону и немалое число реализаций.

Многомерный характер реализаций ТЭП отличает их от нормального закона распределения. Если для какого-либо ТЭП статистическая функция распределения и напоминает нормальный закон распределения, то на смежном временном интервале с большой вероятностью предположение о таком соответствии будет ошибочным. Даже при наличии однотипных объектов ЭЭС число ТЭП ограничено, а при классификации интегральных показателей составляет единицы. В [4] предлагается преодолевать эти трудности с помощью перехода от постоянных критических значений ТЭП к «локальным», вычисляемым имитационным моделированием возможных реализаций коэффициентов

корреляции по фидуциальным распределениям ТЭП.

■ *Обеспечение физической сущности интегрального показателя.* Очевидно, что рекомендации сопоставительного анализа объектов ЭЭС должны быть объективны и, как правило, понятны специалисту. Несоответствие рекомендаций реальным возможностям не исключается, поскольку в этой сложной системе учесть все внешние факторы практически невозможно, например отсутствие резервных узлов, необходимых для ремонта объекта, в связи со случайной задержкой их поставки. Однако при надлежащей организации технического обслуживания и ремонта это может случаться, но не ежемесячно. Поскольку по сути необходимо сопоставить степень износа объектов, для СО наиболее важными являются показатели, характеризующие их отдельные свойства.

Реально ТЭП изменяются от номинального до предельно допустимого значения. Предлагается этот интервал представить как интервал возможности объекта ЭЭС удовлетворять предъявляемым требованиям к техническому состоянию. В результате старения происходит уменьшение этих возможностей. Изменение может быть непрерывным или дискретным. Относительная часть использованных возможностей называется износом, а оставшаяся часть — остаточным ресурсом.

Величина износа изменяется в пределах [0; 1], а остаточный ресурс — в пределах [1; 0]. Переход к относительным значениям ТЭП называется нормированием. Преимуществом нормирования является преодоление трудностей различия размерности и масштабов ТЭП, что не допускает возможности их совместного рассмотрения. Как случайные величины оценки износа наиболее полно характеризуются статистическими параметрами. Методология преодоления трудностей совместного рассмотрения ТЭП приведена в [5].

■ *Разновидности интегральных показателей оперативной эффективности работы.* Переход от множества ТЭП к интегральным показателям упрощает сопоставительный анализ, если можно ответить на следующие вопросы: как вычисляются интегральные показатели, как выбрать интегральные показатели из множества возможных и как сопоставлять эти показатели с учетом их случайного характера.

Известно, что число показателей, характеризующих средние значения реализаций ТЭП и их разброс, превышает 10. Если учесть комплексные показатели (подобные коэффициенту вариации), то общее их число может превышать число ТЭП. Следовательно, при отказе от сравнения совокупности возможных реализаций ТЭП и переходе к интегральным показателям возникает проблема выбора из совокупности возможных типов интегральных показателей, решаемая посредством анализа возможности практического использования и взаимосвязи интегральных показателей.

Результаты проведенного анализа [6] позволили установить, что техническое состояние объекта может быть представлено двумя интегральными показателями, которые характеризуют среднюю величину износа и степень разрегулировки технического состояния объекта,

а также наиболее независимы. Это среднее арифметическое нормированных значений расчетных ТЭП и их коэффициент вариации.

Поскольку рекомендуемая методология сопоставительного анализа основана на сравнении и ранжировании случайных величин износа, выводы и рекомендации по повышению ОЭР объектов не могут не учитывать эту особенность. Можно сравнивать по износу как однотипные объекты, например однотипные энергоблоки электростанций, так и различные, например паровые и гидравлические турбины. В обоих случаях сравнение связано с оценкой целесообразности классификации и вполне доступно, поскольку сопоставляются величины среднего износа.

Трудности решения этой задачи связаны с многомерным характером показателей и большим риском ошибочного решения при применении математического алгоритма проверки гипотез о характере расхождения статистических параметров. Этот риск обусловлен недопустимостью применения к многомерным величинам критериев, предполагающих сравнение статистических параметров одномерных случайных величин. Преодоление этих трудностей достигается сопоставлением двух фидуциальных распределений, первое из которых отражает распределение совокупности нормированных реализаций ТЭП, а второе — выборки реализаций ТЭП по заданному сочетанию разновидностей признаков [7]. При этом предлагается считать, что, если статистические функции распределения различаются случайно, то случайно различаются и их параметры распределений.

Наукоемкость, громоздкость и трудоемкость, большой риск ошибочного решения при ручном счете обуславливают необходимость перехода к автоматизированным системам синтеза интегральных ОЭР и сопоставления эксплуатационных задач технического обслуживания и ремонта. Следует заметить, что перечисленные трудности и способы их преодоления относятся к категории явных. «Неявные» трудности проявляются при внедрении автоматизированной системы и обусловлены многочисленными внешними факторами, специфичными для каждой ЭЭС.

Рассмотрим особенности методологии анализа безошибочности ТЭП, оценки интегрального показателя ОЭР (синтеза ТЭП), анализа системы технического обслуживания и ремонта, а также учет случайного характера интегральных показателей на примере ряда ТЭП парогазовой установки ПГУ-400 одной из электростанций.

### **3. Особенности методологии анализа, синтеза и сравнения ТЭП ПГУ-400**

В таблице 1 приведены некоторые эксплуатационные среднемесячные показатели ТЭП (по форме 3-ТЕХ (энерго)), характеризующие ОЭР ПГУ-400 в анализируемом месяце  $t_j$  и предшествовавшем ему  $t_{j-1}$ . Как следует из таблицы 1, отчетные показатели не всегда удобны для сравнения ОЭР ПГУ, например, не отвечают на вопрос о причинах резкого снижения суммарной

**Таблица 1.** Реализации среднемесячных ТЭП ПГУ-400  
**Table 1.** Implementation of the average monthly TEI SGI -400

№	Наименование ТЭП TEI name	Условное обозначение Symbol	Единицы измерения unit of measurement	Месяцы года Months of year	
				$t_j$	$t_{j-1}$
1	Выработка ЭЭ (всего) EE generation (total)	$\mathcal{E}_\Sigma$	кВтч*10 <sup>3</sup>	241322,8	89617,9
2	Отпуск ЭЭ с шин EE release from the trunks of station	$\mathcal{E}_\Pi$	кВтч*10 <sup>3</sup>	235541,2	86858,1
3	Расход ЭЭ в системе СН Energy consumption in system of ON	$\mathcal{E}_{\text{СН}}$	кВтч*10 <sup>3</sup>	5781,6	2759,8
4	Расход природного газа Natural gas consumption	$B_\Gamma$	т*м <sup>3</sup>	45310,9	17077,5
5	Расход условного топлива Equivalent fuel consumption	$B_T$	т.у.т	51783,8	19517,1
6	Удельный расход условного топлива Specific consumption of equivalent fuel	$b_T$	г/кВтч	219,85	224,7
7	Средняя мощность Average power	$P_{\text{CP}}$	МВт	342,7	322,7
8	КПД брутто Efficiency (gross)	$\eta_6$	%	55,9	51,68
9	Температура питательной воды Feed water temperature	$T_\Pi$	°С	150,5	151,8
10	Температура уходящих газов Flue gas temperature	$T_{y,\Gamma}$	°С	113,2	113,4
11	Вакуум Vacuum	$K_v$	%	95,8	95,7

выработки электроэнергии (ЭЭ) или резкого снижения расхода ЭЭ в системе собственных нужд (СН). Показатели расхода природного газа  $B_\Gamma$ , расход условного топлива  $B_T$  и удельный расход условного топлива  $b_T$  достаточно полно характеризуют экономическую эффективность, но не учитывают, что  $b_T \cdot \eta_6 = \text{const}$ , т. е. ТЭП КПД (брутто)  $\eta_6$  столь же объективно характеризует экономическую эффективность ПГУ, как и ТЭП  $b_T$ .

Для того чтобы учесть это несоответствие, предлагается несколько видоизменить перечень анализируемых ТЭП, а именно:

1) ТЭП  $\mathcal{E}_\Sigma$  и  $\mathcal{E}_\Pi$  заменить на ТЭП коэффициент использования номинальной производительности  $K_\Pi = \mathcal{E}_\Sigma / P_\Pi \cdot t_j$ .

2) ТЭП  $\mathcal{E}_{\text{СН}}$  представить в относительных единицах (%):  $\varepsilon \mathcal{E}_{\text{СН}} = 100 \mathcal{E}_{\text{СН}} / \mathcal{E}_\Sigma$ .

3) Вместо ТЭП  $P_{\text{CP}}$  ввести ТЭП коэффициент использования установленной мощности  $K_P = 100 P_{\text{CP}} / P_\Pi$ .

4) Ввести ТЭП коэффициент технического использования  $K_T = 100 \mathcal{E}_\Sigma / P_{\text{CP}} \cdot t_j$ .

Показатели  $K_\Pi$ ,  $\varepsilon \mathcal{E}_{\text{СН}}$ ,  $K_P$  и  $K_T$  условно называть расчетными.

Результаты автоматизированного преобразования отчетных ТЭП ПГУ-400 в расчетные ТЭП приведены в таблице 2.

Нетрудно заметить, что преобразование ТЭП сводится к вводу показателей  $K_\Pi$ ,  $K_P$  и  $K_T$ , хорошо известных в теории надежности. Более того, поскольку  $K_\Pi = K_P K_T$ , это соотношение может быть использовано для контроля безошибочности их расчета.

Очередным этапом анализа (при вводе автоматизированной системы в работу) является определение интервала изменения возможных реализаций ТЭП. Для уникальных объектов эти интервалы устанавливаются и корректируются по среднемесячным реализациям ТЭП за несколько лет наблюдения. При этом необходимо учесть, что продолжительность интервала со временем возрастает (при неизменном числе реализаций) от исходного до предельно допустимого значения, так как реализации ТЭП изменяются от номинального до предельно допустимого значения.

В таблице 3 приведены результаты расчетов ТЭП за каждые четыре последних года и расчетный показатель за четыре года.

**Таблица 2.** Реализации рекомендуемых среднемесячных ТЭП ПГУ-400 в анализируемом месяце  $t_j$  и предшествовавшем ему  $t_{j-1}$

**Table 2.** Implementation of the recommended of average monthly TEI SGI-400 for the analyzed month  $t_j$  and the preceding month  $t_{j-1}$

№	Наименование ТЭП TEI name	Условное обозначение Symbol	Единицы измерения unit of measurement	$t_j$	$t_{j-1}$
1	Коэффициент использования номинальной производительности Coefficient of use of nominal energy	$K_\Pi$	о.е.	0,84	0,30
2	Расход ЭЭ в системе СН Consumption in system of ON	$\varepsilon \mathcal{E}_{\text{СН}}$	%	2,39	3,08
3	Коэффициент использования установленной мощности Coefficient of use of installed capacity	$K_P$	о.е.	0,86	0,81
4	Коэффициент технического использования Coefficient of technical use	$K_T$	о.е.	0,98	0,37
5	КПД брутто Efficiency (gross)	$\eta_6$	%	55,9	54,7
6	Температура питательной воды Feed water temperature	$T_\Pi$	°С	150,5	151,8
7	Температура уходящих газов Flue gas temperature	$T_{y,\Gamma}$	°С	113,2	113,4
8	Вакуум Vacuum	$K_v$	%	95,8	95,7

При анализе этих данных следует учитывать направленность изменения ТЭП. Под направленностью изменения будем понимать направление изменения ТЭП при увеличении срока службы и износа объекта. Например, с увеличением износа ПГУ ТЭС величина  $K_{\Pi}$  уменьшается, а величина  $\varepsilon\mathcal{E}_{\text{CH}}$  возрастает.

Граничные значения интервалов изменения ТЭП являются не только основой интервального метода контроля безошибочности ТЭП, но и необходимым условием перехода от фактических значений ТЭП к нормированным значениям. Для произвольного ТЭП ( $\Pi_i$ ,  $i = 1, m_p$ ) нормативные значения обозначим  $I_z(\Pi_i)$ . Способов нормирования ТЭП объектов ЭЭ немало [8].

В [4] предлагается проводить нормирование, в результате которого нормированная оценка ТЭП будет отражать техническое состояние ПГУ, т. е. величину износа  $I_z$ .

Рассмотрим последовательность расчетов нормированных значений ТЭП для коэффициента использования номинальной производительности  $K_{\Pi}$ , который с увеличением срока службы ПГУ уменьшается. В соответствии с таблицей 2 в  $j$ -м месяце  $K_{\Pi}(t_j) = 0,84$ . По данным таблицы 3 определяем интервал возможных реализаций:  $\Delta K_{\Pi} = (K_{\Pi, \text{max}} - K_{\Pi, \text{min}}) = 0,696$ . Нормированное значение  $K_{\Pi}$  вычисляется по формуле

$$I_z[K_{\Pi}(t_j)] = [K_{\Pi, \text{max}} - K_{\Pi, \text{min}}(t_j)] / \Delta K_{\Pi} = 0,05.$$

Таким образом, величина износа не превышает 5%.

Теперь рассмотрим последовательность расчета нормированного значения ТЭП  $\Delta\mathcal{E}_{\text{CH}}$ , который с увеличе-

**Таблица 4.** Результаты расчета нормированных значений ТЭП для двух месяцев

**Table 4.** The results of calculating the normalized values of TEI

№	TEI	$t_j$	$t_{j-1}$
1	$I_z(K_{\Pi})$	0,050	0,826
2	$I_z(\varepsilon\mathcal{E}_{\text{CH}})$	0,034	0,629
3	$I_z(K_p)$	0,036	0,127
4	$I_z(K_T)$	0,027	0,863
5	$I_z(\eta_6)$	0,092	0,214
6	$I_z(T_{\Pi})$	0,087	0,228
7	$I_z(T_{y,z})$	0,057	0,073
8	$I_z(V)$	0,090	0,099
$M^*(I_z)$		0,079	0,313
$K_v(I_z)$		0,42	1,093

нием срока службы ПГУ возрастает. В соответствии с таблицей 2  $\Delta\mathcal{E}_{\text{CH}}$  в  $j$ -м месяце составляет  $\varepsilon\mathcal{E}_{\text{CH}}(t_j) = 2,39\%$ . По данным таблицы 3 определяем интервал возможных реализаций:  $\Delta(\varepsilon\mathcal{E}_{\text{CH}}) = 2,37\%$ . Нормированное значение  $\varepsilon\mathcal{E}_{\text{CH}}$  вычисляем по формуле

$$I_z[\varepsilon\mathcal{E}_{\text{CH}}(t_j)] = [\varepsilon\mathcal{E}_{\text{CH, max}} - \varepsilon\mathcal{E}_{\text{CH, min}}(t_j)] /$$

$$\Delta(\varepsilon\mathcal{E}_{\text{CH}}) = 0,034.$$

Результаты аналогичных расчетов приведены в таблице 4, где также приведены интегральные показатели  $M^*(I_z)$  и  $K_v(I_z)$ , характеризующие техническое состояние ПГУ-400 за  $j$ -й и  $(j-1)$  месяцы по данным таблиц 2 и 3.

Сравнение количественных оценок ТЭП ПГУ-400 в  $j$ -м и предшествовавшем ему  $(j-1)$  месяце позволяет сделать следующее заключение:

- шесть ТЭП —  $K_{\Pi}$ ,  $\varepsilon\mathcal{E}_{\text{CH}}$ ,  $K_p$ ,  $K_T$ ,  $\eta_6$ ,  $T_p$  — в результате среднего ремонта ПГУ-400 в  $j-1$  месяце существенно улучшили свои количественные оценки в  $j$ -м месяце;
- два ТЭП —  $T_{y,z}$  и  $K_v$  — практически не изменились.

Интегральные ТЭП  $M^*(I_z)$  и  $K_v^*(I_z)$  также свидетельствуют о существенном улучшении технического состояния ПГУ-400 после ремонта.

Поскольку учтены не все ТЭП, а ПГУ-400 не представлено совокупностью основного оборудования, устройств, установок и их узлов, кажущаяся простота синтеза и сопоставительного анализа ТЭП ПГУ-400 обманчива. Есть не всегда учитываемая при расчетах особенность. Поскольку нормированные значения ТЭП, как и фактические их значения, являются случайными величинами, а число реализаций ТЭП по заданным разновидностям признаков может оказаться достаточно малым, наблюдаемое расхождение интегральных показателей может быть случайным, а риск принятия ошибочного решения — велик.

**Таблица 3.** Интервал изменения реализаций ТЭП ПГУ-400

**Table 3.** Interval of changes in TEI SGI-400 realizations

№	TEI		Интервал изменения реализации ТЭП по годам Change interval of realization TEI on years				За четыре года In four years
	Условное обозначение Symbol	Единицы измерения unit of measurement	1	2	3	4	
1	$K_{\Pi}$	о.е.	<u>0,232</u> 0,699	<u>0,179</u> 0,747	<u>0,450</u> 0,787	<u>0,210</u> 0,875	<u>0,179</u> 0,875
2	$\varepsilon\mathcal{E}_{\text{CH}}$	%	<u>2,60</u> 3,23	<u>2,40</u> 3,15	<u>2,31</u> 3,71	<u>2,32</u> 4,68	<u>2,31</u> 4,68
3	$K_p$	о.е.	<u>0,58</u> 0,73	<u>0,59</u> 0,78	<u>0,48</u> 0,79	<u>0,39</u> 0,88	<u>0,39</u> 0,88
4	$K_T$	о.е.	<u>0,37</u> 1,0	<u>0,27</u> 1,0	<u>0,60</u> 1,0	<u>0,37</u> 1,0	<u>0,27</u> 1,0
5	$\eta_6$	%	<u>50,8</u> 54,3	<u>50,0</u> 54,6	<u>47,0</u> 54,3	<u>42,7</u> 56,8	<u>47,0</u> 56,8
6	$T_{\Pi}$	°C	<u>152,0</u> 155,1	<u>153,2</u> 158,4	<u>156,2</u> 158,9	<u>149,7</u> 158,2	<u>149,7</u> 158,9
7	$T_{y,z}$	°C	<u>113,3</u> 119,7	<u>112,9</u> 121,7	<u>112,5</u> 123,2	<u>113,1</u> 124,8	<u>112,5</u> 124,8
8	$K_v$	%	<u>87,5</u> 96,8	<u>87,3</u> 96,4	<u>85,7</u> 93,5	<u>85,7</u> 96,3	<u>85,7</u> 96,8

Примечание: над чертой — минимальные значения, под чертой — максимальные

В качестве примера решения этой задачи можно рассмотреть характер расхождения интегральных показателей в  $j$ -м и  $(j-1)$ -м месяцах. Однако, учитывая, что сопоставительный анализ многомерен (множество вариантов сравнения), сравнение в рамках теории проверки статистических гипотез одномерных случайных величин связано с большим риском ошибочного решения, оценка критических значений интегральных показателей на основе имитационного моделирования специфична [9], сравнение случайных реализаций интегральных показателей в виду большой трудоемкости, громоздкости и нацеленности должно осуществляться автоматически.

## Выводы

1. Замена объектов, срок службы которых превышает нормативное значение, современными объектами, в настоящее время, даже экономически развитыми странами невозможна. Одной из причин является недостаток средств на полную их модернизацию (и в то же время возникновение системных аварий, обусловленных СО недопустимо). Поэтому, целесообразно проведение частичной модернизации, устраняющей выявленные дефекты с обязательным оперативным контролем их технического состояния и уточнением предельно допустимых значений нагрузки.

2. Центры обеспечения оперативной эффективности работы при отраслевых научно-исследовательских институтах энергетики осуществляют сбор и формализацию данных о техническом состоянии СО, автоматизированный анализ и синтез этих данных, подготовку оперативных рекомендаций по повышению эффективности работы, разработку соответствующих методических указаний, повышение квалификации персонала СО в режиме on-line.

3. Разработка автоматизированных систем контроля технического состояния СО, с учетом специфических внешних факторов, и повышение объективности рекомендаций по эффективности его работы требует согласования формы выходных документов с руководством.

4. Некоторые особенности формализации данных о техническом состоянии СО, обеспечение безошибочности исходных данных, выполнение нормирования ТЭП, оценка интегральных показателей и некоторые результаты сопоставительного анализа свидетельствуют о возможности объективной оценки оперативной эффективности СО и снижении риска возникновения недопустимых последствий.

## Список использованных источников.

1. Лосева П. Против часовой стрелки. Что такое старение и как с ним бороться. М. «Альпина нон-фикшн» 2020; (500).
2. Фархадзаде Э. М., Мурадалиев А. З., Рафиева Т. К., Рустамова А. А. Обеспечение безошибочности автоматизированной методической поддержки руководства и персонала ТЭЦ. М.; Промышленная энергетика 2020; (1): 29–33.

3. Фархадзаде Э. М., Мурадалиев А. З., Рафиева Т. К., Рустамова А. А. Достоверность интегральных показателей эффективности работы энергоблоков ТЭС. М.; Надежность и безопасность энергетики 2019; (4): 6–13.

4. Фархадзаде Э. М., Мурадалиев А. З., Фарзалиев Ю. З. и др. Оценка взаимосвязи технико-экономических показателей объектов ЭЭС // Электронное моделирование 2017; (6): 93–106.

5. Фархадзаде Э. М., Мурадалиев А. З., Фарзалиев Ю. З., Абдуллаева С. А. Сравнение и ранжирование паротурбинных установок энергоблоков ТЭС по эффективности работы. М.: Теплоэнергетика 2018; (10): 41–49.

6. Фархадзаде Э. М., Мурадалиев А. З., Рафиева Т. К., Рустамова А. А. Достоверность анализа технико-экономических показателей энергоблоков ТЭС. М.; Энергетик 2020; (4): 13–16.

7. Фархадзаде Э. М., Мурадалиев А. З., Абдуллаева С. А. Фидуциальный подход при сравнении однотипных объектов. Киев, Электронное моделирование 2019; (1): 55–66.

8. Фархадзаде Э. М., Мурадалиев А. З., Фарзалиев Ю. З., Рафиева Т. К. Сравнительный анализ методов расчета интегральных показателей, характеризующих эффективность работы объектов ЭЭС. Киев Электронное моделирование 2017; (2): 75–90.

9. Фархадзаде Э. М., Мурадалиев А. З., Ашурова У. К. Оценка оперативной эффективности работы однотипных энергетических объектов промышленной энергетики. М.; Промышленная энергетика 2020; (8): 2–9.

## References

1. Loseva P. Counterclockwise. What is aging and how to deal with it. M. "Alpina non-fikish" 2020; (500). (In Russ.)
2. Farhadzadeh E. M., Muradaliyev A. Z., Rafiyeva T. K., Rustamova A. A. Ensuring the accuracy of automated methodological support for the management and personnel the TPS. M: Industrial Energy 2020; (1): 29–33. (In Russ.)
3. Farhadzadeh E. M., Muradaliyev A. Z., Rafiyeva T. K., Rustamova A. A. Reliability of integral indicators of the efficiency TPS power units. M.; Energy reliability and safety 2019; (4): 6–13. (In Russ.)
4. Farhadzadeh E. M., Muradaliyev A. Z., Farzaliyev Y. Z. and others. Assessment of the relationship of technical and economic indicators of EPS facilities // Electronic modeling 2017; (6): 93–106. (In Russ.)
5. Farhadzadeh E. M., Muradaliyev A. Z., Farzaliyev Y. Z., Abdullayeva S. A. Comparison and ranking of steam turbine units of TPS power units by operating efficiency. M.; Heat Power Engineering 2018; (10): 41–49. (In Russ.)
6. Farhadzadeh E. M., Muradaliyev A. Z., Rafiyeva T. K., Rustamova A. A. Reliability of the analysis of technical and economic indicators TPS power units M., Energetic. 2020; (4): 13–16. (In Russ.)
7. Farhadzadeh E. M., Muradaliyev A. Z., Abdullayeva S. A. Fiducially approach when comparing objects of the same type. Kiev, Electronic Modeling 2019; (1): 55–66. (In Russ.)
8. Farhadzadeh E. M., Muradaliyev A. Z., Farzaliyev Y. Z., Rafiyeva T. K. Comparative analysis of methods for calculating integral indicators characterizing the efficiency of EPS facilities. Kiev, Electronic modelling 2017; (2): 75–90. (In Russ.)
9. Farhadzadeh E. M., Muradaliyev A. Z., Ashurova U. K. Evaluation of the operational efficiency same type of industrial energy facilities M.; Industrial Energy 2020; (8): 2–9. (In Russ.)

