



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК: 621.311.21: 658.5: 681.518.3

ОЦЕНКА МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДЕКСА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Степанов Г.А.

ФГАОУ ВО «СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», Красноярск, Россия (660041, Красноярский край, город Красноярск, Свободный пр-кт, д.79), e-mail: GStepanov-GE20@yandex.ru

В наши дни наблюдается тенденция перехода от стратегии планово-предупредительного технического обслуживания и ремонтов (далее ТОиР) – к ТОиР по фактическому состоянию, что связано с постоянным «старением» оборудования и необходимостью применения новых и более совершенных методов контроля и определения его технического состояния. Такое состояние описывается индексом технического состояния (ИТС).

В статье рассматриваются различные подходы к определению ИТС и примеры их применения в различных отраслях энергетики. Проведен анализ существующей и других методик, не утвержденных нормативными документами и не установленными на законодательном уровне, но представляющие интерес с точки зрения альтернативного варианта расчета ИТС для гидроэнергетики.

Ключевые слова: Техническое состояние, методика, гидроэнергетика, электроэнергетика, индекс технического состояния, диагностика, мониторинг.

THE EVALUATION OF METHODS FOR ESTIMATION OF THE HEALTH INDEX OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Stepanov G.A.

SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY, Krasnoyarsk, Russia (79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk, 660041), e-mail: GStepanov-GE20@yandex.ru

Nowadays, there is a tendency to switch from a strategy of planned preventive maintenance, repairs and overhaul (hereinafter MRO) to Reliability-centered maintenance (RCM), which is associated with the constant "aging" of equipment and the need to apply new and more advanced methods of monitoring and determining its technical condition. The health index (HI) of the equipment, describes this condition.

The article discusses various approaches to determining HI and provides examples of their application in different sectors of the energy industry. An analysis of existing methodologies, as well as those not approved by regulatory documents or established at the legislative level but are of interest as alternative options for calculating HI for hydropower facilities, has been conducted.

Keywords: Technical condition, methodology, hydropower, electric power industry, health index, diagnostics, monitoring.

Существует действующая методика оценки индекса технического состояния, разработанная Минэнерго [3], применяющаяся на энергообъектах и промышленных предприятиях для определения индекса технического состояния оборудования. Такая методика является единственной и не имеет альтернатив. Сложно делать выводы о том, насколько достоверные результаты она дает, а именно соответствуют ли эти результаты фактическому состоянию оборудования. Кроме того, важно понимать, как от полученного

результата зависит степень технологического воздействия на оборудование, начиная от капитального ремонта и заканчивая плановой диагностикой.

Данный документ устанавливает правила оценки технического состояния основного оборудования, что в конечном итоге сводится к определению интегрального показателя - индекса технического состояния оборудования в целом (далее ИТС), который для функциональных и обобщенного узлов (далее ИТСУ) определяется по формуле (1):

$$\text{ИТСУ} = 100 \cdot \sum_i \frac{(\text{KB}_i \cdot \text{ОГП}_i)}{4}, \quad (1)$$

где KB_i – значение весового коэффициента для группы параметров технического состояния;

ОГП_i – балльная оценка группы параметров технического состояния.

Для единицы основного технологического оборудования ИТС определяется по формуле (2):

$$\text{ИТС} = \sum (\text{KBУ}_i \cdot \text{ИТСУ}_i), \quad (2)$$

где KBУ_i – значение весового коэффициента для функционального или обобщенного узла;

ИТСУ_i – ИТС функционального или обобщенного узла.

Весовые коэффициенты определяются на основании экспертных оценок и приводятся непосредственно в приказе Минэнерго [3].

Также устанавливается диапазон, отражающий вид технического состояния оборудования [2], в зависимости от полученного значения ИТС, приведенный в Таблице 1.

Таблица 1 – вид технического воздействия в зависимости от полученного ИТС

Диапазон ИТС	Вид технического состояния	Вид технического воздействия
≤ 25	Критическое	Вывод из эксплуатации, техническое перевооружение и реконструкция
$25 < X \leq 50$	Неудовлетворительное	Дополнительное техническое обслуживание и ремонт, усиленный контроль ТС, техническое перевооружение
$50 < X \leq 70$	Удовлетворительное	Усиленный контроль ТС, капитальный ремонт, реконструкция
$70 < X \leq 85$	Хорошее	По результатам плановой диагностики
$85 < X \leq 100$	Очень хорошее	Плановая диагностика

Как и любой нормативный документ, методика может иметь свои ограничения и отклонения. Возможные факторы, влияющие на точность и надежность оценок, включают в себя: ошибки и погрешности при измерениях, а также недостаток необходимых данных; человеческий фактор, а именно субъективность экспертных оценок; особенности эксплуатации самого оборудования; устаревшие или неподходящие методы диагностики, которые могут не учитывать современные требования к оборудованию. Нельзя пренебрегать

возможностью периодических ревизий и обновлений метода в соответствии с передовыми практиками.

В области гидроэнергетики данная методика применяется для расчета ИТС начиная от отдельных узлов оборудования и заканчивая ГЭС в целом.

В ПАО «Интер РАО» [4] предложена методика по оценке ИТС питательного турбонасоса тепловых электростанций на основе экспертных оценок. Предложенный подход можно назвать частным случаем методики Минэнерго [3]. Явные сходства наблюдаются в структуре выявления связей между отдельными узлами оборудования и порядком расчета, за исключением весовых коэффициентов функциональных узлов и единиц оборудования, которые определяются автором на основе опытной эксплуатации оборудования. Также сходство имеется в распределении диапазонов, определяющих степень технологического воздействия по результатам расчетов.

В другой работе, при оценке технического состояния по модифицированной методике определения ИТС [5], поднимается проблема субъективности в оценках ТС сложных технических систем, которая возникает при использовании традиционных методов, основанных на экспертных мнениях.

Здесь ИТС определяется зависимости от их изменения параметров ТС в большую или меньшую сторону в процессе работы оборудования по формуле (3) и (4) соответственно:

$$\text{ИТС}_{i,j} = \frac{(x_{i,j}^{\Phi} - x_{i,j}^{\min})}{x_{i,j}^{\max} - x_{i,j}^{\min}} \cdot 100\%, \text{ при уменьшении параметра;} \quad (3)$$

$$\text{ИТС}_{i,j} = \frac{(x_{i,j}^{\Phi} - x_{i,j}^{\max})}{x_{i,j}^{\min} - x_{i,j}^{\max}} \cdot 100\%, \text{ при увеличении параметра,} \quad (4)$$

где $\text{ИТС}_{i,j}$ – индекс технического состояния i – го узла j – го параметра;

$x_{i,j}^{\Phi}$ – фактическое значение параметра при расчете;

$x_{i,j}^{\max}, x_{i,j}^{\min}$ – максимальное и минимальное значения параметра.

Весовые коэффициенты параметра определяются по формуле (5). При таком подходе, вес параметра будет изменяться в зависимости от ТС оборудования.

$$w_{i,j} = \frac{v_{i,j}}{\sum_{j=1}^{m_i} v_{i,j}}, \quad (5)$$

$$\text{где } v_{i,j} = \frac{S_{i,j}}{\bar{x}_{i,j}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N_{i,j}} (x_{i,j,k} - \bar{x}_{i,j})^2}{N_{i,j} - 1}}}{\bar{x}_{i,j}} - \text{коэффициенты вариации;}$$

$S_{i,j}$ – стандартное отклонение параметра, определяемое на основе данных в период эксплуатации;

$\bar{x}_{i,j}$ – среднее значение параметра;

$N_{i,j}$ – объем выборки параметра.

Весовые коэффициенты функционального узла определяются по матрице парных сравнений, которая составляется исходя из топологического анализа графа функционального узла методом Degree importance Line, что позволяет снизить субъективность оценки.

ИТС единицы оборудования определяются аналогично методике Минэнерго [3].

Проведено сравнение расчетов для двухконтурных турбореактивных двигателей.

Если принять во внимание, что расчет ведется для объекта, который изначально находится «очень хорошо» техническом состоянии, то в начале исследуемого интервала обе методики дают схожий результат.

Однако 68 процентов исследуемого промежутка показывают заметную разницу в расчетах. Полученные значения по такой методике на данном интервале отличаются в среднем от 8 до 13 процентов. Такая разница обуславливается более гибким и усложненным анализом технических параметров объекта в предлагаемой методике, в то время как методика Минэнерго ввиду стандартизированного и упрощенного порядка определения ИТС на начальных интервалах может не позволить определить раннее снижение показателей системы.

Ближе к концу интервала расчеты снова дают близкий результат.

Другой подход по оценке технического состояния для оборудования тепловой станции, а именно конденсатора был предложен в работе авторов из Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт» [1]. При оценке ТС сравнивались параметры существующего конденсатора пара и его математической модели. Считается, что при определении ИТС эффективно использовать решение на основе выявления степени отклонения технологических параметров от значений предупредительных уставок.

ИТС параметра определяется по формуле (6):

$$\text{ИТС}_{ij} = \begin{cases} \frac{(x_{i,j}^{\Phi} - x_{min})}{x_{mean} - x_{min}}, & \text{если } |x_{i,j}^{\Phi} - x_{min}| < |x_{max} - x_{i,j}^{\Phi}| \\ \frac{(x_{max} - x_{i,j}^{\Phi})}{x_{max} - x_{mean}}, & \text{если } |x_{max} - x_{i,j}^{\Phi}| < |x_{i,j}^{\Phi} - x_{min}| \end{cases} \quad (6)$$

где $x_{i,j}^{\Phi}$ – то же, что и в формуле (3, 4);

x_{min}, x_{max} – минимальное и максимальное значение параметра, соответствующее уставке предупредительной сигнализации;

$x_{mean} = \frac{x_{max} - x_{min}}{2}$ – среднее значение параметра, оптимальное по отношению технологической уставки.

ИТС для функционального узла, включающего группу параметров ТС определяется как среднее гармоническое от каждого ИТС параметров узла по формуле (7):

$$\text{ИТС}_i = \frac{j}{\frac{1}{\text{ИТС}_{i,1}} + \dots + \frac{1}{\text{ИТС}_{i,j}}} \cdot 100, \quad (7)$$

где j – количество параметров i – го узла.

Итоговая оценка определяется аналогично [3, 5]. С точки зрения автоматизации расчетов и легкости восприятия данный метод может применяться для систем с достаточно развитыми системами автоматического мониторинга состояния. Однако, не на всех типах оборудования существуют такие узлы, параметры которых можно определять в режиме реального времени без остановки и простоя и у которых существуют предупредительные уставки по некоторым

технологическим параметрам, что может осложнить расчет по такому методу. В таком случае предлагается комбинировать доступные методы расчета.

Выводы

Для определения ИТС и последующей оценки целесообразно принять все вышеперечисленные методики:

- методику Минэнерго [3], которую удобно использовать из-за четко установленных и стандартизированных весовых коэффициентов, что существенно упрощает процесс расчета;
- модифицированную методику [5], которая отличается более сложным порядком определения ИТС, но в тоже время наиболее подробно отражает взаимосвязь технических параметров и узлов оборудования;
- методику, предложенную научно исследовательским университетом Московским энергетическим институтом [1], в которой ИТС параметра, в отличие от методики Минэнерго определяется на основе предупредительных уставок.

На выбор именно этих методик повлияли их доступность, достаточность и полнота представленного порядка расчета и оценки ИТС. Другие источники либо не предоставляли необходимой информации для возможности их применения, либо в большей мере повторяли уже существующую методику.

Однако, за эталонную будет считаться официально утвержденная методика ввиду того, что она подкреплена действующей нормативно-технической документацией.

Полученные результаты по приведенным методикам не дают однозначного решения о возможности применения их для Гидроэнергетики, ввиду отсутствия показательных и качественных примеров использования таких методик в этой области.

Список литературы

1. Щербатов И.А., Долгушев А.Н., Белов М.К., Агибалов В.А., Салов В.А. Оценка технического состояния оборудования тепловой станции на примере конденсатора // International Journal of Open Information Technologies vol. 11. - 2023. - №3. - С. 45-51.
2. О комплексном определении показателей технико-экономического состояния объектов электроэнергетики, в том числе показателей физического износа и энергетической эффективности объектов электросетевого хозяйства, и об осуществлении мониторинга таких показателей: Постановление Правительства РФ от 19 декабря 2016 г. № 1401. в ред. Постановления Правительства РФ от 30.05.2023 N 878. // URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=450200> (дата обращения 12.02.2025). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
3. Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей: приказ от 26.07.2017 г. № 676. в ред. Приказа Минэнерго России от 17.03.2020 №192 – Москва: Министерство энергетики РФ, 2017. – 274 с. URL: <https://base.garant.ru/71779722/> (дата обращения 05.02.2025). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
4. Оклей П. И., Методика оценки интегрального технического состояния оборудования тепловых электростанций // Транспортное дело России. - 2015. - №6. - С. 72-75.

5. Хиеу В.Д., Файзрахманов Р.А. Модифицированная модель индекса технического состояния системы. Алгоритм расчета и анализ применимости // Вестник Пермского Государственного технического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2024. – №50. – С. 195-215.

References

1. Shcherbatov I.A., Dolgushev A.N., Belov M.K., Agibalov V.A., Salov I.V. Thermal plant equipment technical condition assessment on the example of a condenser // International Journal of Open Information Technologies vol. 11. – 2023. – №3. – pp. 45-51.
 2. O kompleksnom opredelenii pokazatelej tehniko-jekonomicheskogo sostojanija ob"ektov jelektrojenergetiki, v tom chisle pokazatelej fizicheskogo iznosa i jenergeticheskoy jeffektivnosti ob"ektov jelektrosetevogo hozjajstva, i ob osushhestvlenii monitoringa takih pokazatelej: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 19 dekabrya 2016 g. № 1401. v red. Postanovlenija Pravitel'stva RF ot 30.05.2023 N 878. // Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=450200> (accessed 12 February 2025).
 3. Ob utverzhdenii metodiki ocenki tehničeskogo sostojanija osnovnogo tehnologicheskogo oborudovaniya i linij jelektroperedachi jelektricheskikh stancij i jelektricheskikh setej: prikaz ot 26.07.2017 g. № 676. v red. Prikaza Minjenergo Rossi ot 17.03.2020 №192 – Moskva: Ministerstvo jenergetiki RF, 2017. – 274 s. Available at: <https://base.garant.ru/71779722/> (accessed 5 February 2025).
 4. Okley P.I. Methodology to evaluate the integral technical state of equipment for thermal power stations // Transport business in Russia. – 2015. – №6. pp. 72-75.
 5. Hieu W.D., Fayzrahmanov R.A. Modified model of the system technical condition index. Algorithm for calculation and applicability analysys // Vestnik Permskogo Gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Jelektrotehnika, informacionnye tehnologii, sistemy upravlenija. – 2024. – №50. – pp. 195-215.
-