

УДК 621.019

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТРАТЕГИЙ ПЛАНОВОГО РЕМОНТА ЭНЕРГООБЛОКОВ

ФАРХАДЗАДЕ Э.М., САФАРОВА Т.Х., МУРАДАЛИЕВ А.З., РАФИЕВА Т.К.

АзНИИПИИЭ, Баку

Аннотация. Приводится сравнение оптимального срока службы оборудования при регламентированной стратегии планового ремонта, ремонта по техническому состоянию узлов оборудования и рекомендуемой авторами системе с регламентированной периодичностью ремонта и объемом ремонта, определяемым техническим состоянием узлов оборудования. Показано, что оптимальный срок службы оборудования для рекомендуемой стратегии ремонта существенно превышает используемые на практике стратегии плановых ремонтов.

Снижение эксплуатационных затрат составляет одну из важнейших проблем эксплуатации энергоблоков (ЭБ) ГРЭС. Эксплуатационные затраты зависят от целого ряда факторов, в том числе эффективности принятой стратегии плановых ремонтов. В настоящее время наиболее распространенными стратегиями организации плановых ремонтов являются [1]:

- регламентированный по периодичности и объему ремонт;
- ремонт, периодичность и объем которого определяются техническим состоянием оборудования.

Каждая из этих двух стратегий имеет свои существенные преимущества и недостатки. Регламентированный ремонт предполагает замену отдельных деталей, узлов оборудования при истечении заданного (нормативного) срока службы $T_{сл}$ на новые и, естественно, требует значительные затраты и усилия на обеспечение соответствующей материальной базы.

Регламентированный ремонт теоретически должен обеспечить высокую надежность оборудования и устройств, существенное снижение длительности простоя в ремонте. На практике реальные значения срока службы $T_{сл}^*$ могут существенно отличаться от $T_{сл}$. При регламентированном ремонте восстановление износа отдельных элементов узла не проводится, а профилактические испытания играют роль контроля возможного отклонения $T_{сл}^*$ и $T_{сл}$.

Ремонты оборудования по техническому состоянию основываются на различии $T_{сл}^*$ и $T_{сл}$. Профилактические испытания становятся основным инструментом оценки необходимости восстановления износа. При этом существенно возрастают требования к измерениям диагностических параметров (ДП). Само восстановление оборудования проводится преимущественно за счет наладки и замены отдельных деталей. Реализация этой стратегии требует разработки методологии использования результатов измерения ДП для анализа и прогнозирования износа узлов оборудования ЭБ. Кроме того, неопределенность в периодичности плановых ремонтов создает существенные трудности в части их организации. В этом отношении представляет интерес третья, рекомендуемая авторами стратегия, в которой периодичность ремонтов регламентирована, а объем ремонта определяется ТС оборудования.

Рассмотрим в качестве критерия предпочтения одной из трех стратегий ремонта - максимальный срок службы при минимуме суммарных затрат, т.е. будем считать стратегию ремонтов более предпочтительной, если оптимальное значение срока службы при этой стратегии будет наибольшим.

Суммарные затраты в единицу времени, позволяющие обеспечить работоспособность оборудования до момента t_c , определим по известной формуле [2].

$$Z_{\Sigma}(t_c) = \frac{Z_o(t_c) + \int_0^{t_c} Z_{\Sigma, \text{эк}}(t_c) dt}{t_c} = \frac{Z_o(t_c) + Z_{\Sigma, \text{эк}}(t_c)}{t_c}; \quad (1)$$

где $Z_o(t_c)$ - затраты на полную замену оборудования в момент t_c ;

$Z_{\Sigma, \text{эк}}(t_c)$ - суммарные эксплуатационные затраты;

t_c - срок службы оборудования.

Графическая иллюстрация изменения каждой из двух составляющих $Z_{\Sigma}(t_c)$ приведена на рис.1. Как следует из рис.1, чтобы определить вариант с наибольшим значением оптимального срока службы $T_{\text{опт}}$, достаточно определить вариант с минимальными значениями эксплуатационных затрат, т.к. $Z_o(t_c)/t_c$ для всех рассматриваемых вариантов стратегий ремонта одно и то же, а $Z_{\Sigma, \text{эк}}(t_c)_{\min}$ будет соответствовать $T_{\text{опт, max}}$.

Определим $Z_{\Sigma, \text{эк}}(t_c)$ для каждого из вариантов.

1. При регламентированных периодичности и объеме планового ремонта:

$$Z_{\Sigma, \text{эк}}^{(1)} = \sum_{v=1}^{m_1} Z_{np, v}^{(1)} + \sum_{j=1}^{K_{\Sigma}} Z_{a, j}^{(1)} + \sum_{v=1}^{m_1} Z_{\text{Re}, v}^{(1)}; \quad (2)$$

где m_1 - число плановых ремонтов, проводимых в течении срока службы;

$m_1 = t_c / \tau_p$, где τ_p - интервал времени между плановыми ремонтами,

$\tau_p = \text{const}$;

K_{Σ} - суммарное число аварийных отключений ЭБ, обусловленных отказами узлов оборудования.

$Z_{np, v}^{(1)}$ - затраты на проведение v - го планового ремонта; принимаются равными стоимости узлов, подлежащих замене.

При этом:

$$\sum_{v=1}^{m_1} Z_{np, v}^{(1)} = \sum_{j=1}^{q_e} Z_{o, j} \cdot r_j = \sum_{j=1}^{q_y} Z_{o, j} \left[\text{Int} \left(\frac{t_c}{T_{\text{сл}, j}} \right) \right] \quad (3)$$

где $Z_{o, j}$ - затраты на замену j - узла;

$T_{\text{сл}, j}$ - срок службы j - го узла; r_j - число замен за время t_c ;

$Z_{a, j}$ - затраты, связанные с последствием возникновения и ликвидации i - го отказа:

$$\sum_{j=1}^{K_{\Sigma}} Z_{a, j}^{(1)} = \sum_{i=1}^{q_y} n_{\Sigma, i} (Z_{o, j} + C_{\text{э}, i}) \quad (4)$$

где $n_{\Sigma, i}$ - суммарное число отказов j - го узла оборудования за время t_c ;

$C_{\text{э}}$ - стоимость недовыработанной электроэнергии ЭБ за время t_c в результате отказа j - узла:

$$C_{\text{э}} = P_{\text{cp}} \cdot \tau_{\text{в}, i}; \quad (5)$$

где P_{cp} - средняя мощность ЭБ (кВт);

$\tau_{\text{в}, i}$ - средняя длительность простоя ЭБ в аварийном ремонте в результате отказа j - го узла;

$3_{\text{Re},v}$ -затраты, связанные с недоиспользованием ресурса узлов, подлежащих замене при v - ом плановом ремонте.

Исходя из условия пропорциональности стоимости и остаточного ресурса, имеем

$$\sum_{v=1}^{m_1} 3_{\text{Re},v}^{(1)} = \sum_{j=1}^{q_y} 3_{o,j} \sum_{i=1}^{r_j} \text{Re}_{j,i}^* ;$$

где
$$r_j = \text{INT} \left(\frac{t_c}{T_{\text{сл},j}} \right) \quad (6)$$

Таким образом, чтобы рассчитать $3_{\Sigma, \text{эк}}^{(1)}$, необходимы данные:

- стоимость узлов оборудования $3_{o,j}$ с $j = 1, q_y$;
- срок службы узлов оборудования $T_{\text{сл},j}$ с $j = 1, q_y$;
- суммарное число отказов оборудования $n_{\Sigma,i}$ за время t_c ;
- среднюю длительность простоя ЭБ $\tau_{e,i}$ вследствие отказа j - узла.
- результат измерения остаточного ресурса j - узла при i - ой замене, $\text{Re}_{j,i}$.

Методология расчета остаточного ресурса приведена в [3].

Эксплуатационные затраты при ремонте, периодичность и объем которого определяются техническим состоянием оборудования, могут быть рассчитаны по формуле:

$$3_{\Sigma, \text{эк}}^{(2)} = \sum_{v=1}^{m_2} 3_{np,v} = \sum_{v=1}^{m_2} 3_{np,v}^{(1)} \cdot [1 - \text{Re}(t_v)]; \quad (7)$$

где m_2 - число плановых ремонтов оборудования по ТС, проведенных в течение срока службы t_c ;

Как было показано в [4], число плановых ремонтов по техническому состоянию m_2 конкретного узла на интервале t_c может быть вычислено, исходя из условия:

$$m_1 \cdot \tau_p \leq \frac{A \sum_{v=1}^{m_2} (1 - A)^{v-1}}{\text{tg} \beta}; \quad (8)$$

где $A = \frac{\text{tg} \beta}{\text{tg} \alpha + \text{tg} \beta};$

$\text{tg} \alpha$ - скорость изменения устраняемого износа;

$\text{tg} \beta$ - скорость изменения остаточного износа.

Под остаточным износом будем понимать износ, который не может быть восстановлен при существующей технологии ремонта.

При наличии q_y узлов, решение вопроса определения очередного планового ремонта существенно усложняется. Эти трудности обуславливаются не только различием значений интервалов между плановыми ремонтами по техническому состоянию каждого узла (по мере роста числа плановых ремонтов $v=1, m_2$, величина $\tau_{p,v}$ уменьшается):

$$\tau_{p,i,v} = \frac{A_i (1 - A_i)^{v-1}}{\text{tg} \beta} \quad \text{с } i = 1, q_y ; v = 1, m_2; \quad (9)$$

но и зависимостью $\tau_{p,i,v}$ от изменения конкретных свойств материала узлов оборудования (электрических, механических, тепловых и пр.).

Решение этого вопроса сводится к совмещению временных диаграмм последовательности ремонта каждого узла на одной временной диаграмме и к эвристическому выбору периодичности и объема ремонта.

При этом также возникают дополнительные затраты на проведение ремонтов, обусловленные необходимостью восстановления износа узлов, работоспособность которых удовлетворяет предъявляемым требованиям. Эти трудности делают рассматриваемую стратегию ремонтов практически неразрешимой.

Эксплуатационные затраты на проведение ремонта с регламентированной периодичностью и объемом, определяемым ТС узлов оборудования включает две составляющие:

$$Z_{\Sigma, \text{эк}}^{(3)} = \sum_{v=1}^{m_1} Z_{np, v}^{(3)} + \sum_{v=1}^{m_1} Z_{Re, v}^{(1)}; \quad (10)$$

Первая составляющая обуславливается восстановлением износа ремонтируемых узлов. Если исходить из условия пропорциональности износа и стоимости восстановления, то:

$$\sum_{v=1}^{m_1} Z_{np, v}^{(3)} = \sum_{j=1}^{q_y} Z_{o, j} \sum_{v=1}^{m_1} (1 - Re_{j, v}) \quad (11)$$

Вторая составляющая вычисляется по формуле (6). Если сопоставить первую и третью стратегии, то нетрудно заметить, что стратегия регламентированного ремонта требует больших эксплуатационных затрат, а реальный срок службы оказывается большим для третьей стратегии в результате систематического контроля ТС.

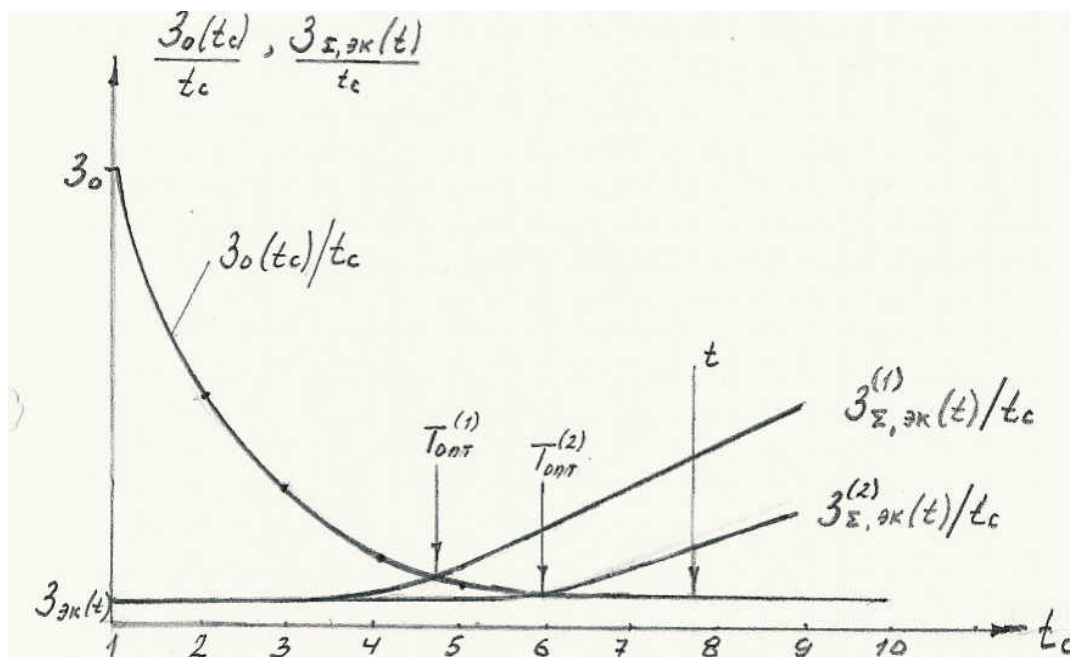


Рис.1 Графическая иллюстрация изменения составляющих суммарных затрат в зависимости от срока службы

1. Колтачков В.И., Яшура А.И. Производственная эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт электрического оборудования. ЗАО «Энергосервис», 1999, 438 с.
2. Надежность электроэнергетических систем». Справочник под ред. Розанова Ю.Н., т2, М.: Энергоатомиздат, 2000, 565с.
3. Мурадалиев А.З., Рафиева Т.К., Фарзалиев Ю.З. Количественная характеристика технического состояния энергоблоков ГРЭС. Ученые записки АзТУ, № 3, 2005г.
4. Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З., Рафиева Т.К. Учет остаточного износа конструктивных материалов электрооборудования. Экоэнергетика, №1, 2006г.

ENERJİBLOKUN PLANLI TƏMİRİ STRATEGİYASININ MÜQAYİSƏLİ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

FƏRHADZADƏ E.M., SƏFƏROVA T.X., MURADƏLİYEV A.Z., RƏFİYEVƏ T.K.

Planlı təmirin reqlamentləşdirilmiş strategiyası zamanı avadanlıqların optimal xidmət müddəti avadanlığın düyünlərinin texniki vəziyyəti üzrə təmiri avadanlığın düyünlərinin texniki vəziyyəti ilə təyin olunan təmirin reqlamentləşdirilmiş vaxtaşırılığı və təmirin həcmindən ibarət müəlliflər tərəfindən təklif edilmiş müqayisəsi verilir. Göstərilmişdir ki, təmirin təklif olunan strategiyası üçün avadanlığın optimal xidmət müddəti praktikada istifadə olunan planlı təmirlərin strategiyasını əhəmiyyətli dərəcədə aşır.

COMPARATIVE ESTIMATION OF STRATEGY SCHEDULED REPAIR POWER BLOCK

FARHADZADEH E.M., SAFAROVA T.X., MURADALIYEV A.Z., RAFIYEVA T.K.

The comparison of optimum service life of the equipment is resulted at regulated strategy of scheduled repair, repair on a technical condition of units of the equipment and system, recommended the authors, with regulated periodicity of repair and volume of repair determined technical condition of units of the equipment. Is shown, that optimum service life of the equipment for recommended strategy of repair essentially exceeds strategy, used in practice, of scheduled repairs.