



РЕМОНТ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

К.т.н. Римов А. А.¹, м.н.с. Мелёшина О. С.¹ (ОАО «ВТИ»)

АННОТАЦИЯ. На примере пылеугольного энергоблока 300 МВт рассмотрена возможность минимизации затрат в процессе эксплуатации энергоустановки после перехода к схеме ремонта по техническому состоянию. Разработана математическая модель, позволяющая рассчитать оптимальный межремонтный ресурс энергоблока при различном характере приращения расхода условного топлива в процессе эксплуатации. Показано, что при увеличении расхода условного топлива до 3% при наработке 30000 ч. после капитального ремонта сроки вывода оборудования в следующий капитальный ремонт целесообразно назначать по показателям безопасности и надежности, без учета снижения эффективности оборудования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ремонт по техническому состоянию, оптимизация затрат на эксплуатацию и ремонты, расход условного топлива, требования безопасности, показатели надёжности.

Во многих случаях обоснованное стремление собственника «не переплачивать» за ремонты установленного оборудования вызывает к жизни схему ремонтов по техническому состоянию вместо традиционно используемой системы планово-предупредительных ремонтов (ППР). Схему ремонтов по техническому состоянию достаточно широко применяют в зарубежных системах менеджмента. Например, учет значимости конкретного оборудования для осуществления технологического процесса, ремонт по техническому состоянию, оценка возникающих при этом рисков, а также выполнение оптимизационных процедур по затратам и полученному эффекту составляют принцип управления физическими активами предприятия [1].

Согласно определению, данному в ГОСТ 18322-78 [2], ремонт по техническому состоянию — «ремонт, при котором контроль технического состояния выполняется с периодичностью и в объеме, установленными в нормативной документации, а объем и момент начала ремонта определяются техническим состоянием изделия». Данное определение не является совершенным, подходящим для всех случаев. Например, старое, изношенное оборудование, как правило, нуждается в более частом диагностировании (и ремонте), чем это установлено в нормативной документации. Тем не менее, из определения виден резерв экономии затрат: если позволяет техническое состояние изделия, ремонты проводятся реже и за счет этого снижаются затраты; если же наоборот, техническое состояние вынуждает делать более частые ремонты, то и в этом случае можно ожидать выгоду за счет экономии топлива, расход которого монотонно растет в процессе эксплуатации между ремонтами. Заметим также, что в приведенном определении под «ремонтом» понимается плановый ремонт, тогда как неплановые (аварийные) ремонты не учитываются.

Большая часть ремонтных затрат, связанных с основным оборудованием ТЭС, приходится на ка-

питальные ремонты. Предел увеличения межремонтного ресурса (т.е. наработки между капремонтами) без ущерба для безопасности оборудования указан в СТО 17330282.27.100.001–2007 [3] и может достигать 50000 ч (или 8 лет, в зависимости от того, что наступит раньше) при благоприятных обстоятельствах: достаточно новом оборудовании, хорошей системе технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Указанное значение ограничивает межремонтный ресурс «сверху». Очевидно, ограничение «снизу» может определяться экономическими обстоятельствами, а именно, будет ли выгодно эксплуатировать изношенное, часто ремонтируемое оборудование вместо его замены на новое, более надёжное и эффективное.

Основными затратами на эксплуатацию энергоустановки, помимо плановых ремонтов, являются затраты на топливо, неплановые ремонты оборудования и заработную плату персонала. Оптимизация ремонтных затрат должна быть связана с оптимизацией других расходов. Рассмотрим возможность минимизации эксплуатационных затрат путем выбора оптимального значения межремонтного ресурса действующего оборудования. При этом интерес представляют удельные, т.е. отнесенные к единице времени, затраты. Оценим перечисленные выше компоненты затрат по отношению к эксплуатации энергоблока.

Затраты на топливо, $\Delta S_m(\tau)$, на достаточно малом отрезке времени $[\tau, \tau + \Delta\tau]$, $\Delta\tau \rightarrow 0$, определяются как:

$$\Delta S_m(\tau) = [b_0 + b(\tau)] \cdot N(\tau) \cdot Ц(\tau) \cdot \Delta\tau, \quad (1)$$

где b_0 — удельный расход условного топлива после выполнения ремонта; $b(\tau) = k \cdot \tau^a$ — приращение удельного расхода условного топлива во времени, k, a — постоянные величины, при этом a является безразмерной константой, k имеет размерность $[\text{г/кВт} \cdot \text{ч}^{(a+1)}]$; $N(\tau)$ и $Ц(\tau)$ — соответственно средняя нагрузка и цена условного топлива на отрезке времени $[\tau, \tau + \Delta\tau]$, $\Delta\tau$ — наработка после капитального ремонта.

Следует отметить, что изменением величины

¹ 115280, Москва, ул. Автозаводская, 14

межремонтного ресурса можно оптимизировать только те удельные затраты, которые изменяются во времени, поэтому величина $b_0 = const$ из формулы (1) не будет участвовать в оптимизационном расчете. В целях оптимизации затрат следует принимать во внимание не суммарные удельные затраты на топливо, а только их часть, $\Delta S_{mb}(\tau)$, обусловленную приращением удельного расхода условного топлива во времени:

$$\Delta S_{mb}(\tau) = b(\tau) \cdot N(\tau) \cdot \zeta(\tau) \cdot \Delta \tau, \quad (2)$$

В предположении, что требования нормативной документации (НД) к плановым ремонтам выполняются, а ремонтный цикл состоит обычно из одного капремонта, одного среднего ремонта и четырех текущих ремонтов, обозначим суммарную стоимость плановых ремонтов, выполняемых в течение ремонтного цикла, как S_{np} . Удельные затраты на плановые ремонты выразятся отношением этой постоянной величины к межремонтному ресурсу: S_{np}/τ_{mp} . Таким образом, удельные затраты на плановые ремонты образуют гиперболическую зависимость от длительности межремонтного ресурса.

Аналогичным образом удельные затраты на неплановые ремонты в течение ремонтного цикла обозначим как $S_{нр}/\tau_{mp}$. Величина $S_{нр}$ прямо пропорциональна частоте вынужденных простоев, I , межремонтному ресурсу, τ_{mp} и средней стоимости вынужденного простоя, $S_{вп}$, а соответствующая величина удельных затрат запишется как $I \cdot S$. Принимая, что в случае выполнения требований НД к ремонтам для высоконадежного основного оборудования электростанции I есть величина постоянная в течение межремонтного цикла, получим независимость удельных затрат на неплановые ремонты от времени. Если же величина $I \neq const$ и возрастает в течение межремонтного цикла или/и частота остановов в неплановые ремонты настолько высока, что отношение $S_{нр}/S_{np} > 10\%$, то подобная ситуация свидетельствует о значительном износе оборудования (или его отдельных узлов) и вызывает необходимость его замены/ списания.

Разнесем зарплату персонала на две категории: зарплата эксплуатационного персонала, $ЗП_э$, и зарплата ремонтного персонала, $ЗП_р$. Очевидно, величину удельной зарплаты $ЗП_э/\tau_k$, где τ_k — календарное время, можно считать постоянной величиной. Что касается зарплаты ремонтного персонала, будем полагать, что $ЗП_р$ входит в величины S_{np} и $S_{нр}$.

Тогда основными факторами, влияющими на оптимальную величину межремонтного ресурса, оказываются приращение удельного расхода условного топлива в единицу времени и удельные затраты на плановые ремонты. Интегрированием выражения по формуле (2) в пределах от 0 до τ_{mp} найдем приращение затрат на топливо, вызванное

его перерасходом в течение межремонтного цикла:

$$S_{mb}(\tau) = \int_0^{\tau_{mp}} b(\tau) \cdot N(\tau) \cdot \zeta(\tau) \cdot d\tau \quad (3)$$

Величина $S_{mb}(\tau)/\tau_{mp}$ является удельными затратами, вызванными перерасходом топлива за межремонтный цикл. Приравнивание нулю производной по времени от суммы указанной величины и удельных затрат на плановые ремонты, S_{np}/τ_{mp} , и последующее решение полученного уравнения относительно τ_{mp} позволяет определить оптимальный межремонтный ресурс. С учетом (1) и (3) получим:

$$\left[\int_0^{\tau_{mp}} k \cdot \tau^a \cdot N(\tau) \cdot \zeta(\tau) \cdot d\tau \right]'_{\tau} \cdot \tau_{mp} - S_{np} = 0 \quad (4)$$

Для упрощения решения уравнения (4) без существенного влияния на результат расчета примем допущение о постоянстве величин средней нагрузки $N(\tau)$, и цены условного топлива (в ценах одного года), $\zeta(\tau)$, в течение межремонтного цикла, а в качестве их значений примем их усредненные значения на всем указанном промежутке времени: $N(\tau) = \bar{N}$, $\zeta(\tau) = \bar{\zeta}$. В результате оптимальная величина межремонтного ресурса выразится как

$$\tau_{mp} = \left[\frac{(a+1) \cdot S_{np}}{a \cdot k \cdot \bar{N} \cdot \bar{\zeta}} \right]^{\frac{1}{a+1}} \quad (5)$$

В качестве примера рассчитаем оптимальное значение межремонтного ресурса пылеугольного энергоблока 300 МВт, используя следующие исходные данные: восстановление нормативных значений тепловой экономичности выполняется в капитальный ремонт, $S_{np} = 250$ млн.руб., $S_{нр}/\tau_{mp} = 700$ руб./час, $ЗП_э/\tau_k = 77$ млн.руб./год, $\bar{N} = 200$ МВт, $\bar{\zeta} = 2300$ руб./т, $b_0 = 320$ г/кВт·ч.

В формулу (5) входят величины k и a , определяющие приращения расхода условного топлива. Экспертным путем была установлена следующая оценка: после выполнения капремонта расход условного топлива в течение последующих 30000 ч

Таблица 1. Оптимальные значения межремонтного ресурса энергоблока 300 МВт в зависимости от модели расхода условного топлива.

Стадия эксплуатации	Константы функции приращения расхода условного топлива, $b(\tau) = k \cdot \tau^a$		Оптимальное расчетное значение межремонтного ресурса, τ_{mp} , ч
	k , г/кВт · ч ^(a+1)	a , ед.	
А	$2,31 \times 10^2$	0,585	84000
Б	$3,20 \times 10^4$	1,00	58000
В	$7,69 \times 10^7$	1,585	46000

Таблица 2. Возрастание удельных затрат на эксплуатацию энергоблока 300 МВт при отклонении межремонтного ресурса от оптимального значения.

Стадия эксплуатации	Расходы на оптимизированный межремонтный цикл		Изменение расходов при сокращении межремонтного ресурса относительно оптимального значения			
	Стоимость межремонтного цикла, млрд. руб.	Удельные затраты, тыс. руб./ч	Размер сокращения, ч	Стоимость межремонтного цикла, млрд. руб.	Приращение удельных затрат, руб./ч	Перерасход в течение неоптимального межремонтного цикла, млн. руб.
А	14,1	167	34000	8,41	630	34,5
Б	9,74	168	8000	8,40	101	5,05
В	7,74	168	21000	4,27	2480	62,0

эксплуатации предельно может увеличиваться на 3%. При этом рассмотрены три модели приращения расхода, соответствующие различным стадиям эксплуатации оборудования: «А» — новое оборудование, $a = 0,585$; «Б» — оборудование, работающее в пределах паркового ресурса, $a = 1,00$; «В» — состаренное оборудование, достигающее выработки индивидуального ресурса, $a = 1,585$. Подстановкой наработки после капремонта в часах в соответствующую расчетную формулу для $b(\tau)$ (таблица 1) получаем расход условного топлива в рассматриваемый момент времени в г/кВт·ч. Оптимальные значения межремонтного ресурса в таблице 1 получены подстановкой констант k , а и необходимых исходных данных в формулу (5).

Как видно из данных таблицы 1, значение T_{mp} нового оборудования (стадия эксплуатации «А») существенно превышает допустимое по соображениям безопасности предельное значение 50000 ч. Результаты расчета T_{mp} для стадий эксплуатации «Б» и «В» также оказываются близкими к указанному значению. Возрастание затрат на эксплуатацию при отклонении величины T_{mp} от оптимального значения отражено в таблице 2. Расчеты выполнены со сниженной величиной T_{mp} для стадии эксплуатации «А» на 34000 ч, для стадии «Б» на 8000 ч (для уменьшения величины межремонтного ресурса до максимально разрешенного значения 50000 ч) и для стадии «В» — на 21000 ч (с целью сокращения межремонтного ресурса до 25000 ч для изношенного оборудования).

Как видно из данных таблицы 2, при сокращении межремонтного ресурса относительно оптимального значения по соображениям безопасности удельные затраты возрастают для каждой из стадий эксплуатации (различных функций приращения расхода условного топлива). Наиболее значителен перерасход на стадиях А (приработка нового оборудования) — 34,5 млн. руб. (или 0,41% от стоимости межремонтного цикла) и В (эксплуатация изношенного оборудования за пределами паркового ресурса) — 62,0 млн. руб. (или 1,45% от стоимости межремонтного цикла). При этом сокращение межремонтных интервалов оборудования на стадиях А и Б обусловлено требованиями безопасности (т.к. длительность эксплуатации не может превышать 50000 ч), а на стадии В — как безопасности, так требованиями его надёжной

работы. Альтернативой для энергокомпании нести дополнительные затраты из-за перерасхода топлива на стадии В является, как известно, замена (списание) оборудования.

Для основной стадии эксплуатации оборудования (в пределах паркового ресурса) перерасход, в случае выбора межремонтного ресурса с отклонением от оптимального значения на 8000ч, незначителен: 5,05 млн. руб. (или 0,06% от стоимости межремонтного цикла).

Выводы

1. Допущение об ухудшении в течение межремонтного цикла технико-экономических показателей энергоблока 300 МВт на 3% и выполненный расчет величины его межремонтного ресурса при различных временных зависимостях снижения экономичности дают оптимальное значение указанной величины близкое к 50000 ч или превышающее это значение.

2. Последующий анализ влияния отклонения величины межремонтного ресурса от оптимального значения и вида функции приращения расхода условного топлива на величину эксплуатационных затрат свидетельствуют о незначительном, не более чем на 0,06%, возрастании затрат на межремонтный цикл на основной стадии эксплуатации оборудования — в пределах выработки паркового ресурса.

3. Выбор величины межремонтного ресурса оборудования целесообразно осуществлять по соображениям безопасности и обеспечения его надёжности, без учета возможного снижения эффективности энергоблока.

Публикуемые результаты получены при финансовой поддержке Министерства Образования и Науки РФ (гос. контракт №16.552.11.7068).

Литература

- PAS 55-2:2008 Asset Management. Part 2: Guidelines for the application of PAS 55-1.
- ГОСТ 18322-78 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.
- СТО 17330282.27.100.001-2007. Тепловые электрические станции. Методики оценки состояния основного оборудования. — М.: НП «ИНВЭЛ», 2007.