

УДК 621.002:338.262

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

© 2008 г. В.И. Свешников\*, СВ. Свешникова\*, А.Н. Трегубое\*\*

\*Южно-Российский государственный технический университет  
(Новочеркасский политехнический институт)

\*\*РСК ОАО «Ростовэнерго»

*Предложено рассматривать отдельно процесс нормальной эксплуатации оборудования и процесс замещения изношенного оборудования. Замещаемое оборудование предложено разделять на группы по сроку службы и принимать решение об их выводе из работы по предельному сроку службы, включающему работу в зоне нормальной эксплуатации и зоне износа.*

*The idea to separate consideration of normal equipment exploitation process, and consideration of depreciated equipment replacement process is posed. Replaced equipment should be, in this way, divided into groups (by life time), and then these groups should be replaced or not, depending on life time limits and features of work— in the zone of normal exploitation, or in the deterioration zone.*

Ключевые слова: электроэнергетика, электрические сети, эксплуатация, надежность, оборудование, срок службы.

Экономическое состояние электрических сетей России длительное время характеризовалось неудовлетворительным воспроизводством основных производственных фондов. Следствием является высокий уровень износа оборудования, который не может быть устранен в рамках обычного эксплуатационного процесса. Поэтому с процессом нормальной эксплуатации должны быть совмещены процессы выработки и пополнения ресурса оборудования, его утилизация и реконструкция.

Объем недофинансирования энергетики за годы реформ, который вызвал износ оборудования, не может быть восполнен одномоментно. Далее изложена одна из возможных стратегий постепенного снижения уровня износа оборудования и предложен критерий, определяющий объемы ежегодно замещаемого или модернизируемого оборудования.

В основу стратегии снижения уровня износа оборудования положен переход от рассмотрения износа единиц оборудования к износу совокупности всего однотипного оборудования региональной сетевой компании. Однотипное оборудование предлагается разделять на группы по сроку службы.

Международные организации СИГРЕ, СИРЕД, МЭК предлагают использовать воз-

никающее в связи с рассмотрением экономических аспектов износа единицы оборудования понятие срока службы следующим образом:

— технический срок службы— нарушение функциональной работоспособности;

— экономический срок службы— чрезмерно высокие затраты при проведении ремонта;

— стратегический срок службы— недостаточная пропускная способность ВЛ при росте нагрузки.

Технический аспект износа оборудования связан с надежностью и может иллюстрироваться зависимостью частоты (параметра потока) отказов от времени.

Типовой график изменения частоты отказов приведен на рис. 1, и включает три периода— приработки, нормальной эксплуатации и износа. При оценке надежности параметр потока отказов определяется для периода нормальной эксплуатации.

Последняя зона графика работы элемента сети— износ— иллюстрирует период старения оборудования. Износ вызывается необратимыми физико-химическими процессами, которые приводят к ухудшению качества деталей. В этот период параметр потока отказов возрастает. Характер изменения пото-

ка отказов в фазе износа позволяет найти технический срок службы— до разрушения оборудования.

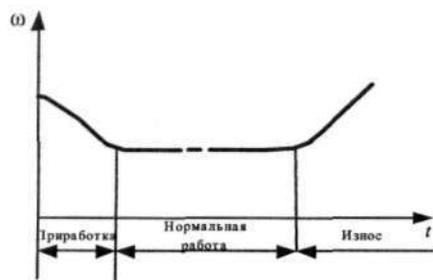


Рис. 1. Зависимость параметра потока отказов от продолжительности эксплуатации оборудования сети

С технической точки зрения срок службы— это суммарная продолжительность эксплуатации оборудования до его перехода в предельное состояние. Авторами предложено определять момент перехода оборудования в предельное состояние путем разделения времени эксплуатации фазы износа на участки и экстраполяции полученных точек кривой  $\omega = f(t)$ . Анализ износа единицы оборудования позволяет принять решение по конкретному объекту.

Перейдем к совокупности однотипного оборудования. В настоящее время, как правило, речь идет об износе оборудования РСК в целом. Износ имеет экономический и технический аспекты. Техническую характеристику износа совокупности оборудования связывают с понятием ресурса.

В военной промышленности срок службы оборудования определяется назначенным ресурсом— суммарной наработкой, при достижении которой эксплуатация оборудования должна быть прекращена независимо от технического состояния.

Решением Минэнерго в 1985 г. введено понятие паркового ресурса: суммарной наработки однотипных по конструкции, маркам стали и условиям эксплуатации элементов оборудования, которая обеспечивает их безаварийную работу при соблюдении требований эксплуатации и ППР (планово— предупредительного ремонта).

Парковый ресурс является предельным сроком эксплуатации. При его исчерпании проводятся индивидуальные обследования и рассчитывается индивидуальный остаточный ресурс.

Предельное состояние оборудования— состояние, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно. Кроме того, необходимо отметить следующее. Понятие ресурс ранее относилось к объектам, имеющим в своем составе элементы, представляющие собой угрозу для жизни и здоровья людей. Для прочего оборудования, зданий, сооружений обычно использовалось понятие срока службы.

Однако в последнее время предпринимаются попытки использовать понятие «ресурс» для оценки технического состояния совокупности сетевого оборудования. Так, в работе [1] для оценки технического состояния для учета срока службы вводится ресурсный показатель, %:

$$\text{ПР} = (1 - M_{\text{норм}}/M) \cdot 100\% ,$$

где  $M_{\text{норм}}$  — количество оборудования или протяженность ВЛ соответствующего класса напряжения, срок эксплуатации которого превышает нормативные сроки;  $M$  — общее количество оборудования или протяженность ВЛ.

Ресурсный показатель— по существу первая попытка оценки надежности совокупности элементов по техническим соображениям.

Рассмотрим износ группы элементов электрических сетей по экономическим соображениям. В данном случае целесообразно определить выбытие оборудования по годам, используя значение предельного срока службы, что позволит оценивать возможность финансирования замены оборудования путем включения расходов в тариф на транспорт электрической энергии и определять объем недофинансирования в разрезе года.

Предельный срок службы в зоне износа предложено определять по балансу затрат на проведение ремонтно-эксплуатационного обслуживания существующего оборудования и затрат на ремонт и эксплуатацию нового оборудования аналогичного назначения, заменяющего изношенное оборудование.

Затраты на ремонт и эксплуатацию оборудования включают затраты собственно на ремонт, сумму налогов на имущество, а также затраты на обеспечение надежности, включающие затраты на проведение аварийного ремонта и оплату ущерба потребителям за аварийные перерывы электроснабжения.

Рассмотрим последовательно перечисленные составляющие затрат.

Затраты на ремонт будем определять, разделив срок службы на два периода: период нормальной эксплуатации объекта  $T_3$ , в течение которого ежегодные затраты постоянные  $U_{\text{рем}}^{T_3} = \text{const}$ , и период износа оборудования продолжительностью  $T_c - T_3$ , в течение которого затраты на ремонт увеличиваются, и их можно рассчитывать по формуле

$$U_{\text{рем}}^{T_c - T_3} = U_{\text{рем}}^{T_3} r^{t-1},$$

где  $r = 1 + \alpha$  — коэффициент прироста затрат на ремонт оборудования;  $\alpha$  — процент годового прироста затрат на ремонт.

Сумма налога на имущество за соответствующий отчетный налоговый период [1] определяется по формуле

$$U_{\text{нал}} = U_{\text{ср.год}} N_{\text{нал}}, \quad (1)$$

где  $U_{\text{ср.год}}$  — среднегодовая стоимость оборудования;  $N_{\text{нал}}$  — ставка налога на имущество предприятия.

Предельный размер налоговой ставки составляет 2 % налогооблагаемой базы и устанавливается органами законодательной власти субъектов Федерации.

Затраты на эксплуатацию оборудования являются издержками по обеспечению надежности электроснабжения.

Издержки, связанные с проведением аварийно-восстановительных ремонтов (АВР), могут быть покрыты частично за счет фонда самострахования, частично — за счет страхования аварийно-восстановительных ремонтов в страховой компании. Практически это приводит к страхованию АВР с применением безусловной или совокупной франшизы [2] (франшиза — условие страхового договора, предусматривающее освобождение страховщика от возмещения убытков, не превышающих определенного размера). В результате суммарные затраты на покрытие расходов по АВР включают две составляющие:

$$U_{\text{ав.рем}} = U_{\text{ФС}} + U_{\text{страх}}, \quad (2)$$

где  $U_{\text{ФС}}$  — издержки, связанные с созданием фонда самострахования;  $U_{\text{страх}}$  — размер выплат страховой компании в связи со страхованием аварийно-восстановительных ремонтов оборудования региональной сетевой компании (РСК).

Страхование ответственности электросетевых организаций [3] за перерыв электроснабжения в настоящее время практически

не используется. Аварийные перерывы электроснабжения, сопровождаются ущербом  $U_y$ , который определяет численные значения составляющей издержек

$$U_y = y_0 \Delta \Theta, \quad (3)$$

где  $y_0$  — удельный ущерб от недоотпуска электроэнергии;  $\Delta \Theta$  — величина аварийного недоотпуска электроэнергии.

Суммарная величина издержек, связанных с эксплуатацией изношенного сетевого оборудования,

$$\begin{aligned} U_{\Sigma} &= U_{\text{рем}}^{T_c - T_3} + U_{\text{нал}} + U_{\text{ФС}} + U_{\text{страх}} + U_y = \\ &= U_{\text{рем}}^{T_3} r^{t-1} + U_{\text{ср.год}} N_{\text{нал}} + U_{\text{ФС}} + U_{\text{страх}} + y_0 \Delta \Theta. \end{aligned} \quad (4)$$

Перейдем к определению затрат на сооружения и эксплуатацию нового оборудования аналогичного назначения, замещающего изношенное оборудование.

Денежный поток инвестиционного проекта образуется как сумма составляющих денежных потоков от следующих видов деятельности: собственно инвестиционной, операционной, финансовой.

Денежный поток от собственно инвестиционной деятельности проиллюстрирует рис. 2 [4].

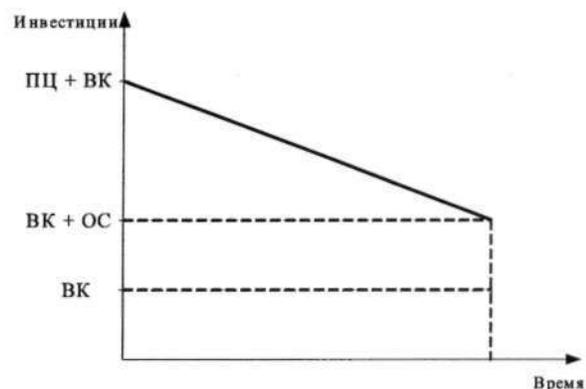


Рис. 2. Вложенный капитал и срок службы инвестиций: ПЦ — покупная цена; ВК — вложенный оборотный капитал; ОС — остаточная стоимость

В процессе функционирования замещающего оборудования денежный поток от инвестиционной деятельности может обеспечить поступления средств за счет экономии оборотного капитала, но требует определенных капитальных вложений, а также затрат на увеличение оборотного капитала.

Денежный поток от операционной деятельности сводится в основном к сумме производственных издержек и налогов.

Денежный поток от финансовой деятельности формируется за счет:

— притока денежных средств, к которому относится вложения собственного капитала и привлеченных средств;

— заемных средств, включающих выпуск предприятием собственных долговых ценных бумаг;

— оттока— затрат на возврат и обслуживание займов и выпущенных предприятием долговых ценных бумаг выплаты дивидендов по акциям предприятия.

Рассмотрим вышеперечисленные денежные потоки подробнее. Денежный поток, связанный с инвестиционной деятельностью, включает, в основном, единовременное вложение капитала. Денежный поток от операционной деятельности включает издержки, связанные с ремонтом и обслуживанием оборудования, а также затраты на обеспечение надежности электроснабжения потребителей.

Затраты на ремонт рассчитываются по формуле

$$U_{\text{рем}}^T = U_{\text{рем}}$$

Сумма налога на имущество может быть рассчитана по формуле (1), но для другого значения среднегодовой стоимости оборудования.

Формула затрат на обеспечение надежности электроснабжения потребителей аналогична формулам (2) и (3).

Расчетные формулы для определения отдельных составляющих потока, связанного с финансовой деятельностью, зависят от выбранного источника инвестиций и принятой стратегии возврата и обслуживания займов или иного обеспечения финансовой деятельности.

В качестве источника финансирования могут рассматриваться собственные средства РСК— амортизационные отчисления и прибыль, займы ( $U$ ), государственные субсидии, облигации, акции, может использоваться финансовый и оперативный лизинг. Поток платежей может иметь вид финансовой ренты, или членами потока могут быть любые величины с произвольным интервалом времени между платежами. Далее рассматривается поток платежей в виде финансовой ренты.

Суммарные издержки, связанные с использованием нового оборудования, замещающего изношенное, будут определяться по формуле

$$\begin{aligned} U_{\Sigma}^n &= U_{\text{рем}}^T + U_{\text{нал}} + U_{\text{ФС}} + U_{\text{страх}} + U_y + U_z = \\ &= U_{\text{рем}}^T + U_{\text{ср.год}} N_{\text{нал}} + U_{\text{ФС}} + U_{\text{страх}} + y_0 \Delta \mathcal{E} + \\ &+ \frac{K_{\text{инв}}}{N} (1 + \Pi), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $K_{\text{инв}}$  — величина капиталовложений, необходимых для сооружения нового объекта;  $\Pi$  — процент, который необходимо уплачивать по займу на строительство;  $T$ — число лет выплаты займа.

В формулах (4) и (5) отличаются по величине все аналогичные составляющие. Поэтому для определения предельного срока службы необходимо построить графики  $U_{\Sigma}^n$  и  $U_{\Sigma}^n$ .

Точка их пересечения определит предельный срок службы в зоне износа (рис. 3).

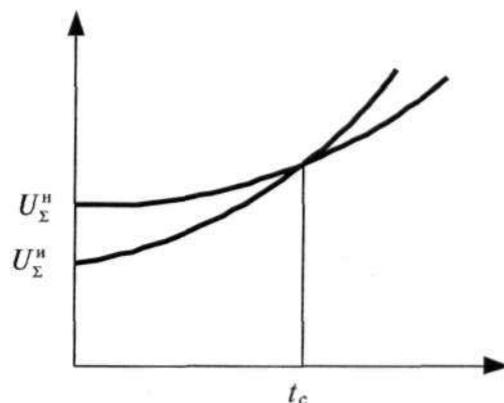


Рис. 3. Графическое определение предельного срока службы оборудования ПС и ВЛ

Предельный срок службы оборудования ПС или ВЛ в зоне износа позволяет определить момент замены изношенного оборудования новым и выполнить все необходимые подготовительные работы.

Найдем аналитическое выражение срока службы оборудования ПС или ВЛ в фазе износа. Запишем равенство

$$U_{\Sigma}^n - U_{\Sigma}^n = 0$$

и преобразуем его следующим образом:

$$(U_{рем}^{T_s} (1 + \alpha)^{t-1} - U_{рем}^{T_s}) - 0,02U_{ср.год} + (U_{ФС}^н - U_{ФС}^н) + y_0 T_{ав} (\omega_n - \omega_n) P - \frac{K_{инв}}{N} (1 + \Pi) = 0.$$

Будем считать, что кривая износа всюду эквидистантна кривой изменения параметра потока отказов, поэтому справедливо равенство

$$\omega_n - \omega_n = \omega_n (1 + \alpha)^t - \omega_n.$$

С учетом этого

$$(U_{рем}^{T_s} + y_0 T_{ав} P)(1 + \alpha)^{t-1} = (U_{рем}^{T_s} + y_0 \omega_n T_{ав} P) + 0,02U_{ср.год} + \frac{K_{инв}}{N} (1 + \Pi),$$

$$(1 + \alpha)^{t-1} = \frac{U_{рем}^{T_s} + y_0 \omega_n T_{ав} P + 0,02U_{ср.год} + \frac{K_{инв}}{N} (1 + \Pi)}{U_{рем}^{T_s} + y_0 \omega_n T_{ав} P},$$

$$(t-1)\lg(1 + \alpha) = \lg \frac{U_{рем}^{T_s} + y_0 \omega_n T_{ав} P + 0,02U_{ср.год} + \frac{K_{инв}}{N} (1 + \Pi)}{U_{рем}^{T_s} + y_0 \omega_n T_{ав} P}$$

или

$$t = \frac{\lg \frac{U_{рем}^{T_s} + y_0 \omega_n T_{ав} P + 0,02U_{ср.год} + \frac{K_{инв}}{N} (1 + \Pi)}{U_{рем}^{T_s} + y_0 \omega_n T_{ав} P}}{\lg(1 + \alpha)} + 1.$$

Таким образом, предельный срок службы оборудования ПС и ВЛ целесообразно представлять в виде суммы предельного срока службы в зоне нормальной эксплуатации и предельного срока службы в зоне износа. Для расчета его значений целесообразно использовать предложенные в статье формулы.

По известному предельному сроку службы оборудования, в том числе и в фазе ремонта и известному сроку службы единицы оборудования, определяем очередность его замещения и модернизации, что позволяет решить часть проблем, связанных с износом оборудования в электроэнергетике.

#### Литература

1. Дерил Норткотт. Принятие инвестиционных решений // Банки и биржи.— М.: Изд. объединение «ЮНИТИ», 1997.— 247 с.
2. Свешников В. И., Ткачева А. Б. Применение франшизы как метод повышения эффективности страхования аварийно-восстановительных ремонтов на энергетическом предприятии // Вести в электроэнергетике.— 2003— № 3.
3. Свешников В. И., Ткачева В. Б. Об ответственности электросетевых организаций за перерыв электроснабжения // Вести в электроэнергетике.— 2005.— № 6.
4. Четыркин Е. М. Финансовый анализ производственных инвестиций. — М.: Дело, 2002— 256 с.



**Свешников Валерий Иванович** — доктор технических наук, заведующий кафедрой «Экономика и организация производства» ЮРГТУ (НПИ). Автор более 200 работ по проблемам экономики электроэнергетики, надежности энергосистем, организации производства. Под руководством В.И. Свешникова подготовлено четыре кандидата наук.



**Свешникова Светлана Валерьевна** — аспирант кафедры «Экономика и организация производства» ЮРГТУ (НПИ) (научный руководитель А.В. Коваленко). Автор ряда работ по экономике электроэнергетики.



**Треубов Александр Николаевич** — начальник отдела бизнес-планирования и анализа РСК ОАО «Ростовэнерго». Автор ряда работ по организации энергетического производства.

346428 г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132  
Тел. раб. (факс) (86352) 55-0-45, SveshnikovVI@mail.ru