

ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

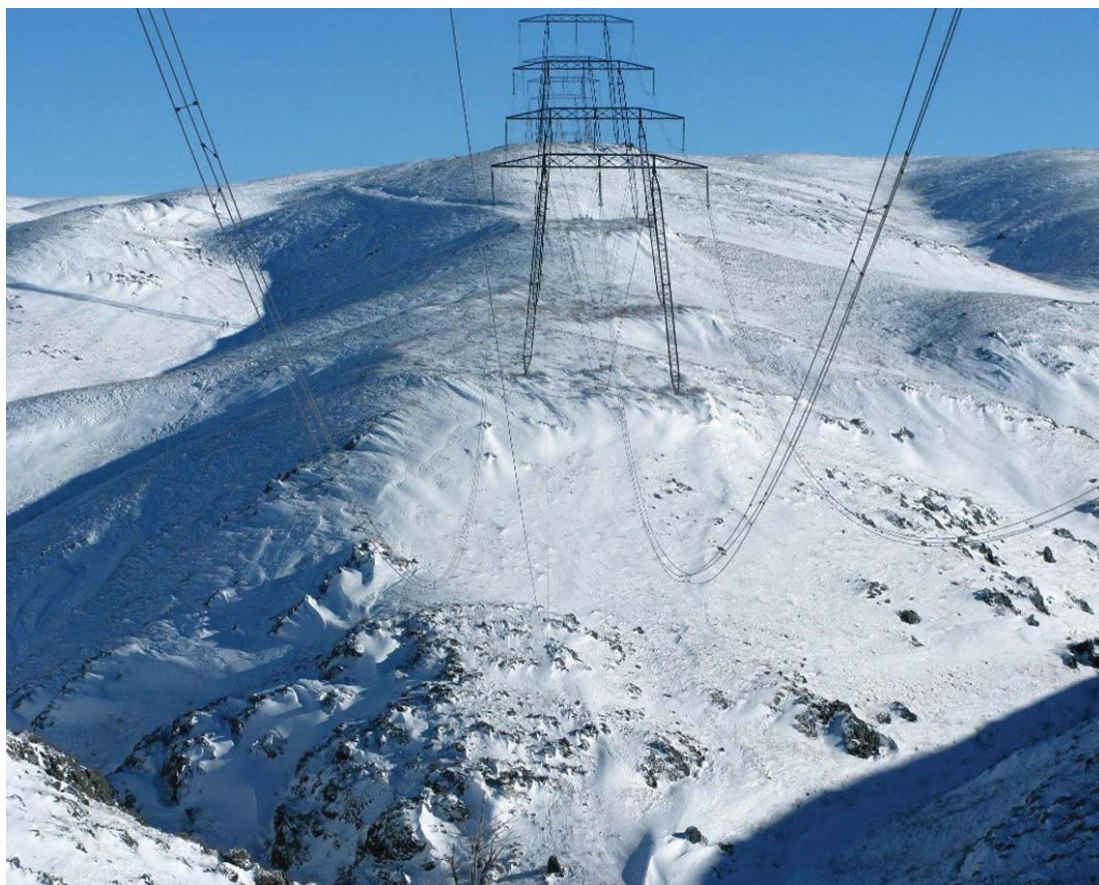
АВТОР:

Б.А. УТЕУЛИЕВ,
АО «КАЗАХСТАНСКАЯ
КОМПАНИЯ
ПО УПРАВЛЕНИЮ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ
СЕТЯМИ»

По состоянию на начало 2017 г., более 20 % воздушных линий электропередачи напряжением 220–500 кВ эксплуатируется свыше 40 лет, 67 % — старше 25 лет. Старение основных фондов

представляет одну из серьезнейших проблем для энергетической системы России. Ухудшение технического состояния электрических сетей — один из основных факторов нарастания числа случаев нарушения их работы.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи (ВЛ); физический износ; метод наблюдения; метод хронологического возраста; весовой коэффициент; нормативный срок службы.



ВЛ 500 кВ «ЮКГРЭС — Алматы»

ВВЕДЕНИЕ

По своей структуре воздушные линии электропередачи состоят из трех конструктивных компонентов: опорной, изолирующей и проводниковой конструкций [1].

Конструктивные элементы ВЛ в процессе эксплуатации подвергаются естественному старению и преждевременному износу при воздействии климатических и других факторов, вследствие чего они теряют свои первоначальные характеристики. Данный процесс характеризуется физическим износом.

Физический износ приводит к негативным последствиям для электроэнергетики. Во-первых, ухудшаются эксплуатационные характеристики электроэнергетического объекта. Во-вторых, при увеличении срока службы объекта увеличивается частота его ремонтов, при этом ремонтные работы становятся все более трудоемкими. В-третьих, растут технологические нарушения, увеличиваются затраты на ремонт электрических сетей. В какой-то степени считается, что замедлить физический износ можно путем проведения технического обслуживания, но это лишь поддерживает

работоспособность конструктивного элемента.

Степень износа объекта измеряется соответствующими коэффициентами. Коэффициенты износа определяют по одному показателю — либо по выработанному ресурсу, либо по времени эксплуатации. Соответственно устанавливаются предельные показатели — технический ресурс или нормативный срок службы.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ВЛ

Все методы измерения физического износа конструктивных элементов делятся на две группы: метод наблюдения (метод прямого определения) и блок косвенных методов [2].

1. При методе наблюдения применяются средства технического диагностирования при непосредственном участии обслуживающего персонала.



Рис. 1
Анкерная опора ВЛ 220 кВ
«Алматы — Главная»

Полученные данные сравниваются с нормативными либо с новыми аналогичными элементами, и на основе экспертных оценок их физического состояния определяется процент физического износа оцениваемого объекта.

В Методических указаниях по оценке технического состояния ВЛ напряжением 35–750 кВ [3] расчет комплексной оценки технического состояния ВЛ производится на основе коэффициентов дефектности элементов. Техническое состояние опор устанавливается на основании коэффициента дефектности опор *КДО*:

$$КДО = \frac{n_o^o}{n_y^o} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где n_o^o — количество дефектных опор, зарегистрированных на данной ВЛ;

n_y^o — количество установленных опор, находящихся в эксплуатации на данной ВЛ.

Аналогично определяются коэффициенты дефектности фундаментов, проводов, грозозащитных тросов, изоляторов и линейной арматуры. Комплексная оценка технического состояния ВЛ определяется по формуле:

$$КДВЛ = 0,4КДО + 0,1КДФ + 0,3КДП + 0,1КДТ + 0,07КДИ + 0,03КДА, \quad (2)$$

где *КДО*, *КДФ*, *КДП*, *КДТ*, *КДИ*, *КДА* — коэффициенты дефектности опор, фундаментов, проводов, грозозащитных тросов, изоляторов и линейной арматуры соответственно.

По сути, коэффициент дефектности *КДВЛ* является физическим износом ВЛ, определенным методом наблюдения. Достоинством метода наблюдения является определение фактической неисправности элементов по результатам натурных измерений, недостатком — учет ко-

личества только развитых дефектов, при этом дефекты на ранней стадии, находящиеся в пределах допустимого, не учитываются.

2. Блок косвенных методов оценки физического износа подразделяется на метод хронологического возраста (паспортные данные) и метод начисленной амортизации (бухгалтерские отчеты):

а) метод хронологического возраста F_T (F), базовая формула которого такова [4]:

$$F_T = \frac{T_\phi}{T_n} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где T_ϕ — фактический возраст объекта, лет;

T_n — нормативный срок службы, лет.

Достоинством данного метода является простота расчета, который основан на двух показателях: хронологический возраст объекта (устанавливаемый на момент оценки) и нормативный срок службы (устанавливаемый учетной политикой организации). Недостатком является то, что в процессе эксплуатации объекта отдельные элементы могут неоднократно ремонтироваться или полностью заменяться. Подобный расчет приводит к большой погрешности для объектов, срок службы которых близок к нормативному, так как на данном объекте неоднократно выполнялся ремонт с заменами элементов.

б) метод начисленной амортизации F_S (F), базовая формула которого выглядит следующим образом [2]:

$$F_S = \frac{S_a}{S_n} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где S_a — начисленная амортизация за весь период эксплуатации объекта, у.е.;

S_n — первоначальная стоимость объекта, у.е.

Рис. 2
Изолирующая подвеска
ВЛ 500 кВ «Агадырь — ЮКГРЭС»



Достоинством метода начисленной амортизации является простота расчета, исходные данные которого — бухгалтерские отчеты. К недостаткам относятся недостаточная точность расчетов при постоянных изменениях первоначальной стоимости или начисленной амортизации после проведения переоценок объекта. Если организация провела переоценку один раз, то в дальнейшем ее необходимо проводить регулярно. Некоторые организации могут не проводить капитализацию затрат, тогда точность расчетов снижается так же, как и при методе хронологического возраста.

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДА НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ВЛ

Для метода наблюдения можно использовать формулы определения коэффициента дефектности элементов ВЛ [3], но у этих формул есть недостаток: если компонент имеет незначительные дефекты в пределах допустимых норм, то они не учитываются. В таком случае износ опорного компонента можно записать в следующем виде:

$$F_{on} = \frac{\sum_i^n f_{деф.оп.i} \cdot n_{оп.i}}{N_{оп}} \cdot K_{оп}, \quad (5)$$

где $f_{деф.оп.i}$ — весовой коэффициент износа i -х дефектных опор;

$n_{оп.i}$ — количество i -х дефектных опор, шт.;

$N_{оп}$ — количество обследованных опор, шт.;

$K_{оп}$ — весовой коэффициент опорного компонента $K_{оп}=0,5$.

Аналогично определим износы проводникового и изолирующего компонентов:

$$F_{np} = \left(\frac{\sum_i^n f_{деф.пр.i} \cdot l_{пр.i}}{L_{пр}} + \frac{\sum_i^n f_{деф.из.i} \cdot l_{из.i}}{L_{из}} \right) \cdot K_{np}, \quad (6)$$

$$F_{из} = \frac{\sum_i^n f_{деф.из.i} \cdot n_{из.i}}{N_{из}} \cdot K_{из}, \quad (7)$$

где $f_{деф.пр.i}$ — весовой коэффициент износа i -го дефектного участка проводов;

$l_{пр.i}$ — протяженность i -го дефектного участка проводов, км;

$L_{пр}$ — общая протяженность обследованных участков проводов, км;

$f_{деф.гт.i}$ — весовой коэффициент износа i -го дефектного участка грозозащитных тросов;

$l_{гт.i}$ — протяженность i -го участка грозозащитных тросов, км;

$L_{гт}$ — общая протяженность обследованных участков грозозащитных тросов, км;

$f_{деф.из.i}$ — износ i -х дефектных изолирующих подвесок, %;

$n_{из.i}$ — количество i -х дефектных изолирующих подвесок, шт.;

$N_{из}$ — общее количество обследованных изолирующих подвесок, шт.;

$K_{пр}$ — весовой коэффициент проводникового компонента $K_{пр}=0,4$;

$K_{из}$ — весовой коэффициент изолирующего компонента $K_{из}=0,1$.

Значения весовых коэффициентов в формулах (5–7) взяты из Методических указаний по оценке технического состояния воздушных линий электропередачи напряжением 35–750 кВ и их элементов [3]. При этом весовой коэффициент опорной конструкции получен путем сложения коэффициентов опор и фундаментов, весовой коэффициент проводниковой конструкции — путем сложения коэффициентов проводов и грозозащитных

тросов, весовой коэффициент изолирующей конструкции — путем сложения коэффициентов изоляторов и арматуры.

Физический износ ВЛ определяется суммированием показателей, рассчитанных по формулам (5–7):

$$F = F_{on} + F_{np} + F_{из} \quad (8)$$

В качестве примера приведем расчет физического износа ВЛ 220 кВ Л-2540 «Правобережная — Индер» [далее — Л-2540] на железобетонных опорах, трасса которой расположена в Западно-Казахстанской области Республики Казахстан.

Исходные данные:

Всего опор — 803 шт., из них обследована 771 опора, в том числе 560 опор марки ПБ-220-3 и 211 опор марки ПБ-220-1.

Общая протяженность проводов марки АС 300/39 и грозозащитных тросов марки ТК-11 — 787,6 км, из них обследовано 41,125 км, в том числе проводов — 19,035 км, грозозащитных тросов — 22,09 км.

Всего изолирующих подвесок — 2502 шт., из них обследовано 59 шт.

Фактический срок службы на момент обследования — 41 год.

Район по нормативному ветровому давлению — III (32 м/с).

Район по нормативной толщине стенки гололеда — I (10 мм).

Обследование железобетонных опор производилось ультразвуковым методом. За период обследования проверены все железобетонные опоры, у которых выявлены разные коэффициенты состояния бетона. В работах автора статьи [5, 6, 7] приведен порядок расчета коэффициента состояния бетона с диапазоном $0 < K_c < 0,6$. Результаты обследования опорной конструкции показаны в табл. 1 на с. 84.

Весовой коэффициент износа опорной конструкции определяется как процентное соотношение от предельного граничного параметра фактического состояния. Для железобетонных опор предельный граничный параметр фактического состояния равен $K_c = 0,6$. Например, для коэффициента состояния бетона $K_c = 0,2$ весовой коэффициент износа составит:

$$f_{деф.оп.0,2} = (0,2 \times 100) / 0,6 = 33 \%$$

Обследование проводов и грозозащитных тросов производилось методом магнитной дефектоскопии. Этим методом определяются последствия износа, коррозии и повреждения внутренних проволок грозозащитного троса или стального сердечника провода АС [8]. За период обследования проверены участки проводов по однородным зонам, по итогам которого выявлены разные потери сечения стального сердечника сечением 38,6 мм². Результаты обследования проводов приведены в табл. 2 на с. 84.

За период обследования проверены участки грозозащитных тросов по однородным зонам, по итогам которого выявлены разные потери сечения троса сечением 72,95 мм².



Рис. 3
Подготовка к верховому
осмотру на опоре ВЛ 500 кВ
«Кокшетауская — Аврора»

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ОПОРНОЙ КОНСТРУКЦИИ Л-2540

Коэффициент состояния бетона, K_c	Весовой коэффициент износа опор, $f_{деф.оп.г}$ %	Количество опор, $n_{оп.г}$ шт.
0	0	507
0,1	17	93
0,2	33	58
0,3	50	21
0,4	67	13
0,5	83	11
0,6	100	68
Всего		771

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПРОВОДОВ Л-2540

Фактические потери сечения, %	Весовой коэффициент износа проводов, $f_{деф.пр.г}$	Протяженность $l_{пр.г}$ км
2,6	26	3,055
3,9	39	3,525
5,2	52	0,94
5,3	53	0,94
5,6	56	0,47
6,6	66	3,29
7,5	75	0,47
7,9	79	2,585
9,2	92	3,29
10,5	100	0,235
11,8	100	0,235
Всего		19,035

Таблица 2

Результаты обследования грозозащитных тросов приведены в табл. 3.

Весовой коэффициент износа проводниковой конструкции определяется аналогично весовому коэффициенту износа опорной конструкции. Предельным граничным параметром фактического состояния является относительная потеря прочности провода, равная 10 % при достиже-

нии им предаварийного состояния согласно рис. 4 на с. 86 [8].

Для определения относительной потери прочности стального сердечника провода в данном графике сопоставляют потерю сечения стального сердечника (ПС сердечника, %) и отношение площади алюминиевой части (мм²) к площади стальной части провода (мм²).

Относительную потерю прочности грозозащитного троса можно определить по рис. 4, где сопоставляют потерю его сечения с нулевым значением по оси абсцисс, так как грозозащитный трос не имеет алюминиевой части.

За период обследования проверены участки ВЛ по однородным зонам, по итогам которого выявлены разные потери сечения сцепной арматуры в изолирующей конструкции. Загрязнения стеклянных изоляторов незначительны, выявлены единичные случаи разрушения стекла изолятора в гирлянде. При оценке физического износа изолирующей конструкции можно пренебречь учетом единичных разрушений изоляторов в гирлянде, так как в расчетах это дает тысячные доли процента износа из-за большого количества изоляторов на ВЛ.

Критичным дефектом для изолирующей конструкции является уменьшение поперечного сечения сцепной арматуры в этой конструкции. Поэтому для оценки физического износа изолирующей конструкции принимаем потери поперечного сечения в сцепной арматуре. Результаты обследования сцепной арматуры приведены в табл. 4.

Весовой коэффициент износа сцепной арматуры изолирующей конструкции определяется аналогично весовым коэффициентам износа предыдущих компонентов. Предельным граничным параметром фактического состояния является допустимое уменьшение поперечного сечения сцепной арматуры, равное 20 % согласно Типовой инструкции [9].

Подставив значения в формулы (5–8), получим:

$$F_{оп} = [(0 \cdot 507 + 17 \cdot 93 + 33 \cdot 58 + 50 \cdot 21 + 67 \cdot 13 + 83 \cdot 11 + 100 \cdot 68) / 771] \cdot 0,6 = 8,5 \%$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ Л-2540

Фактические потери сечения, %	Весовой коэффициент износа грозозащитных тросов, $f_{деф.гт.г}$	Протяженность, $l_{гт.г}$ км
1,4	14	0,235
1,5	15	0,235
1,9	19	0,94
2,1	21	1,175
2,5	25	2,35
2,9	29	8,46
3,2	32	1,41
3,3	33	0,235
3,6	36	0,94
3,8	38	0,235
4,1	41	1,175
4,2	42	2,35
4,3	43	0,94
4,5	45	0,705
4,7	47	0,47
4,8	48	0,235
Всего		22,09

Таблица 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ СЦЕПНОЙ АРМАТУРЫ Л-2540

Фактические потери сечения, %	Весовой коэффициент износа сцепной арматуры изолирующей конструкции $f_{деф.из.г}$	Количество изолирующих подвесок $n_{из.г}$
4	20	4
5	25	55
Всего		59

Таблица 4

$$F_{пр} = [(26 \cdot 3,055 + 39 \cdot 3,525 + \dots) / 19,035 + (14 \cdot 0,235 + 15 \cdot 0,235 + \dots) / 22,09] \cdot 0,4 = 36,8 \%$$

$$F_{из} = [(20 \cdot 4 + 25 \cdot 55) / 59] \cdot 0,1 = 2,5 \%$$

$$F = 8,5 + 36,8 + 2,5 \approx 48 \%$$

По результатам обследования, износ Л-2540 составил 48 %.

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОСВЕННОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ВЛ

При оценке физического износа косвенным методом исходным значением является нормативный срок службы, который необходимо установить только для групп компонентов. При установлении нормативного срока службы для каждого элемента в группе компонентов расчет физического износа ВЛ в целом получится громоздким. Нормативный срок службы достаточно установить для каждого конструктивного компонента ВЛ.

Нормативный минимальный срок службы проводов указан в пункте 2.10 ГОСТ 839-80 [10], который варьируется от 10 до 45 лет в зависимости от их марки. Для грозозащитных тросов можно принять нормативный срок службы, аналогичный сроку службы проводов.

Срок службы линейной арматуры установлен в ГОСТ Р 51177 [11] и должен составлять не менее 40 лет, а для подвесных тарельчатых стеклянных изоляторов в ГОСТ 6490-93 [12] установлен только гамма-процентный срок службы, который составляет 30 лет. Учитывая, что большинство отказов, связанных с повреждением изолирующей подвески, происходит из-за разрыва

сцепной арматуры, нормативный срок службы изолирующей подвески можно принять 40 лет.

Что касается срока службы опор, то можно воспользоваться оценкой, предлагаемой в «Методике оценки технического состояния линий электропередачи 110 кВ и выше» [13], где для железобетонных опор он оценивается в 50 лет, а для стальных решетчатых опор — 60 лет.

Принимаем следующие нормативные сроки службы конструктивных компонентов:

1. опорная конструкция: железобетонные опоры с центрифугированными стойками — 50 лет, стальные решетчатые опоры — 60 лет;
2. проводниковая конструкция (провода АС, грозозащитные тросы ТК) — 45 лет;

3. изолирующая конструкция — 40 лет.

Таким образом, для уточнения физического износа ВЛ требуется усовершенствовать метод хронологического возраста, который заключается в учете ранее проведенных ремонтов и реконструкций, если таковые имеются. Для этого за основу примем формулу метода хронологического возраста. При этом введем весовые коэффициенты для каждого конструктивного компонента ВЛ.

Тогда износ опорного, проводникового и изолирующего компонентов определим по формулам:

$$F_{on}^1 = \frac{K_{on} \cdot 100}{N_{on} \cdot T_{n,on}} \cdot \sum_i^n (T_{if,on} \cdot N_{ion,zam}) \quad (9)$$

$$F_{np}^1 = \frac{K_{np} \cdot 100}{N_{np} \cdot T_{n,np}} \cdot \sum_i^n (T_{if,np} \cdot N_{inr,zam}) \quad (10)$$

$$F_{из}^1 = \frac{K_{из} \cdot 100}{N_{из} \cdot T_{n,из}} \cdot \sum_i^n (T_{if,из} \cdot N_{инз,зам}) \quad (11)$$

где $T_{if,оп}$ — фактический срок службы опорной конструкции, лет;

$T_{if,пр}$ — фактический срок службы проводниковой конструкции, лет;

$T_{if,из}$ — фактический срок службы изолирующей конструкции, лет;

$T_{н,оп}$ — нормативный срок службы опорной конструкции, лет;

$T_{н,пр}$ — нормативный срок службы проводниковой конструкции, лет;

$T_{н,из}$ — нормативный срок службы изолирующей конструкции, лет;

$N_{iоп,зам}$ — количество замененных опор, шт.;

ОБЛАСТИ СОСТОЯНИЯ СТАЛЕАЛЮМИНИЕВЫХ ПРОВОДОВ

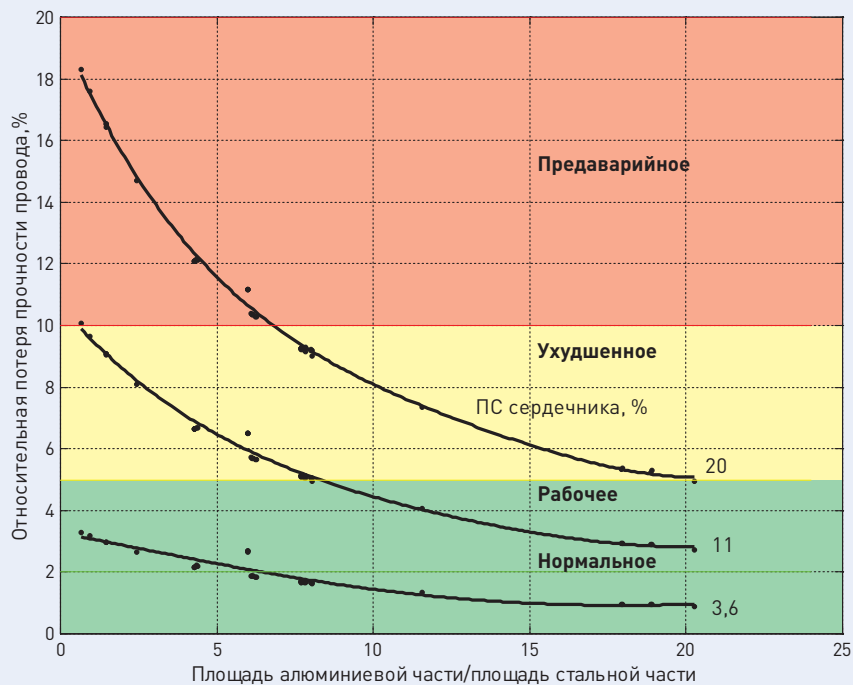


Рис. 4

$N_{inr,zam}$ — протяженность замененных проводниковых конструкций, км;

$N_{из,зам}$ — количество замененных изолирующих конструкций, шт.;

$N_{оп}$ — количество опор, установленных на ВЛ, шт.;

$N_{пр}$ — общая протяженность проводов и грозозащитных тросов, км;

$N_{из}$ — количество изолирующих подвесок, установленных на ВЛ, шт.;

$K_{оп}$ — весовой коэффициент опорной конструкции $K_{оп} = 0,5$;

$K_{пр}$ — весовой коэффициент проводниковой конструкции $K_{пр} = 0,4$;

$K_{из}$ — весовой коэффициент изолирующей конструкции $K_{из} = 0,1$.

Физический износ ВЛ косвенным методом определяется выражением:

$$F^1 = F_{on}^1 + F_{np}^1 + F_{из}^1 \quad (12)$$

Следует отметить, что изолирующая конструкция не влияет на физический износ ВЛ в целом в связи с частыми заменами изоляторов и сцепной арматуры по сравнению с опорной и проводниковой конструкциями. Учитывая малый весовой коэффициент изолирующей конструкции, ее при расчете физического износа ВЛ косвенным методом можно не учитывать.

В данном случае из формулы (12) исключается износ изолирующей конструкции:

$$F^1 = F_{on}^1 + F_{np}^1 \quad (13)$$

При этом весовой коэффициент опорного компонента принимаем равным $K_{оп} = 0,6$.

В качестве примера приведем расчет физического износа Л-2540.

Определим физический износ до обследования Л-2540 косвенным методом согласно формуле (13):

$$F_{on}^1 = (0,6 \cdot 100 / 803 \cdot 50) \cdot (41 \cdot 803) = 49,2 \%$$

$$F_{np}^1 = (0,4 \cdot 100 / 787,6 \cdot 45) \cdot (41 \cdot 787,6) = 36,4 \%$$

$$F_{оп}^1 = 49,2 + 36,4 \approx 86 \%$$

Расчет показывает, что Л-2540 имеет износ 86 %, тогда как результаты обследования показали, что износ составил 48 %.

В таком случае косвенный метод оценки физического износа необходимо адаптировать под результаты обследования. Тогда, если не проводится реконструкция ВЛ, формула (13) преобразится следующим образом:

$$F^{1*} = \frac{F_{on}^1}{\frac{K_{on} \cdot 100}{N_{on} \cdot T_{n,on}} \cdot \sum_i^n (T_{обсл} \cdot N_{ion,zam}) / (F_{on} + F_{из})} + \frac{F_{np}^1}{\frac{K_{np} \cdot 100}{N_{np} \cdot T_{n,np}} \cdot \sum_i^n (T_{обсл} \cdot N_{inr,zam}) / F_{np}} \quad (14)$$

где $T_{обсл}$ — срок службы на момент проведения обследования, лет.

Таким образом, физический износ до обследования Л-2540, косвенным методом адаптированный под результаты обследования, составит:

$$F^{1*} = \frac{49,2}{\frac{0,6 \cdot 100}{803 \cdot 50} \cdot (41 \cdot 803) / (8,5 + 2,5)} + \frac{36,4}{\frac{0,4 \cdot 100}{787,6 \cdot 45} \cdot (41 \cdot 787,6) / 36,8} \approx 48 \%$$

Это позволит рассчитывать физический износ в последующие годы, где, например, для Л-2540 отсчет начинается с 48 %, а не с 86 %.

При реконструкции Л-2540 на период срока службы 49 лет, а также при замене проводниковой и изолирующей конструкции в полном

ГРАФИК ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРА ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

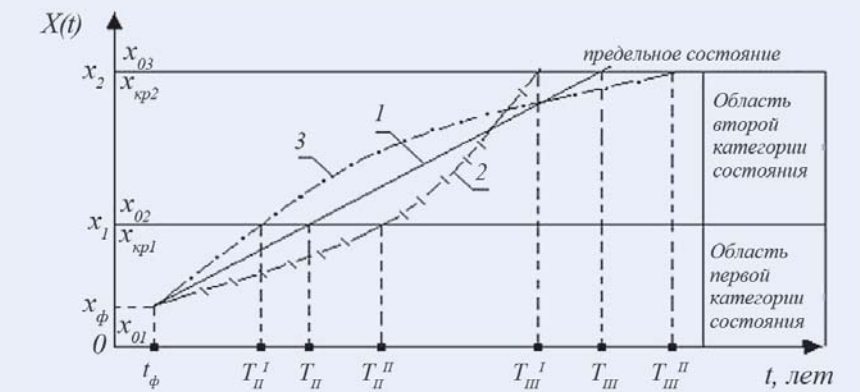


Рис. 5

объеме и частичной замене опор, нормативный срок службы компонентов следует оставить прежним, если произведена их замена в полном объеме (в нашем случае это проводниковые и изолирующие конструкции). При частичной замене компонентов необходимо устанавливать их продленный нормативный срок службы до предельного состояния.

Достижение до предельного состояния любого компонента определяется по интенсивности изменения его параметра фактического состояния. Пример изменения параметра фактического состояния показан на рис. 5.

Значение параметра фактического состояния определяется по формуле:

$$X(t) = x_\phi + k \cdot \ln t; \mu, \quad (15)$$

где k — климатический коэффициент, учитывающий особенности изменения параметра фактического состояния компонента в рассматриваемом регионе. Климатический коэффициент определяется умножением коэффициентов

по гололеду, ветру, абсолютному минимуму температуры воздуха, относительной влажности воздуха, засоленности почвы [14];

t_i — количество рассматриваемых лет;

μ — интенсивность изменения параметра фактического состояния.

Расчет эмпирических законов распределения показал, что распределение отказов ВЛ из-за повреждений железобетонных опор подчиняется нормальному закону распределения случайных величин [14].

Значение параметра фактического состояния железобетонных опор составит:

$$X(t_i) = 0,007 + 1,12 \cdot \ln 1 \cdot 0,041 = 0,007.$$

Далее расчет ведется до тех пор, пока $X(t_n) = 0,6$, т.е. до граничного параметра фактического состояния железобетонных опор, который равен $K_c = 0,6$ (табл. 1 на с. 84).

$$X(t_{27}) = 0,007 + 1,12 \cdot \ln 27 \cdot 0,156 = 0,586.$$

По полученным результатам построим график продления ресурса, показанный на рис. 6.

Следовательно, нормативный срок службы опорной конструкции продлевается на 27 лет с момента проведения реконструкции (49 лет), т.е. до 76 лет. Тогда физический износ косвенным методом после реконструкции Л-2540 согласно формуле (10) составит:

$$F_i = (0,5 \cdot 100 / 803 \cdot 86) \cdot (49 \cdot 539 + 0 \cdot 264) + (0,4 \cdot 100 / 787,6 \cdot 45) \cdot (0 \cdot 787,6) + (0,1 \cdot 100 / 2502 \cdot 25) \cdot (0 \cdot 2502) \approx 22 \%$$

В результате получим, что после реконструкции физический износ Л-2540 составит 22 % после полной замены проводов, грозозащитных тросов, изолирующих подвесок и частичной замены опор (остались не замененными 539 опор).

Таким образом, можно оценивать средний физический износ в целом по организации, обслуживающей ВЛ. Учитывая, что после проведения обследования ВЛ определены

дефектные элементы и оценен физический износ компонентов, можно выполнить прогноз среднего физического износа.

Для сравнения существующего и предлагаемого методов оценки физического износа на рис. 7 приведен график прогнозного изменения данного параметра.

В существующем методе оценки физического износа используются два параметра: нормативный срок службы ВЛ (50 лет) и фактический срок службы ВЛ. Как было отмечено ранее, недостатком является отсутствие учета в оценке физического износа ранее проведенных замен элементов. Таким образом, средний показатель физического износа всех ВЛ ежегодно растет, что видно на рис. 7.

В предлагаемом методе оценки физического износа учитываются нормативные сроки службы компонентов ВЛ и количество замененных элементов в компонентах. В 2014 г. проведено обследование 26 ВЛ

и уточнен их физический износ по формуле (14), тем самым снизился средний износ на 3,8 %. В 2020 г. планируется обследовать 24 ВЛ, в 2021 г. — 17 ВЛ, в 2022 г. — 19 ВЛ. Учитывая результаты предыдущих обследований, ожидается уточнение их физического износа по факту и снижение среднего показателя в целом по организации, обслуживающей ВЛ.

При проведении реконструкции определенных ВЛ это позволит еще больше снизить средний физический износ в целом по организации, обслуживающей ВЛ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Термин «нормативный срок службы ВЛ» является некорректным, так как сроки службы конструктивных компонентов различаются. Нормативный срок службы должен устанавливаться для конструктивных компонентов отдельно.
2. Достоинством оценки физического износа методом наблюдения является определение количества дефектных конструктивных компонентов ВЛ по результатам обследования. Точность расчета напрямую зависит от достоверности результатов диагностирования. Недостаток данного метода выражается в том, что в расчетах не учитываются незначительные износы компонентов, значения параметра фактического состояния которых находятся в пределах допустимого. При частичной замене конструктивных компонентов физический износ незамененных элементов фактически не может быть равен нулю, так как они в любом случае имеют незначительный износ. Для исключения этого недостатка необходимо ввести вес износа для каждого конструктивного компонента.

ГРАФИК ПРОГНОЗНОГО ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕГО ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА В ЦЕЛОМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ, ОБСЛУЖИВАЮЩЕЙ ВЛ



Рис. 7

ГРАФИК ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРА ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР Л-2540 ДО ПРОГНОЗИРУЕМОГО ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ



Рис. 6

3. Методы хронологического возраста и начисленной амортизации имеют существенный недостаток для ВЛ, срок службы которых близок к нормативному. Из сопоставления достоинств и недостатков вытекает, что эти методы дают достаточно точные результаты в первые годы хронологической жизни объекта. С увеличением возраста и после проведения ремонтов точность расчетов резко падает, так как при замене элемента его состояние доводится до нового, а отсутствие информации о предыдущих заменах приводит к завышению показателя физического износа.
4. Наиболее точным косвенным методом оценки физического износа ВЛ является метод хронологического возраста с весовыми коэффициентами. Данный метод может быть основным критерием выбора ВЛ для обследования. Достоинством метода хронологического возраста с весовыми коэффициентами является учет ранее произведенных замен конструктивных компонентов.

5. После проведения обследования ВЛ необходимо адаптировать физический износ косвенным методом под результаты обследования, если не проводится реконструкция ВЛ. Таким образом, можно уточнить физический износ косвенным методом, что даст реальную оценку в последующие годы эксплуатации ВЛ.
6. После проведения реконструкции ВЛ нормативный срок службы конструктивных компонентов должен продлеваться до их гарантированного ресурса. При этом гарантированный ресурс должен быть рассчитан с учетом остаточного износа конструктивного компонента на период реконструкции, если конструктивный компонент заменяется частично.

ЛИТЕРАТУРА

1. Утеулиев Б.А. Структура воздушной линии электропередачи. Конструктивные особенности. // Промышленность Казахстана. — 2016. — № 6 (99). — С. 30–33.

2. Асаул А.Н., Старинский В.Н. Оценка стоимости машин и оборудования: учебное пособие. Под ред. А.Н. Асаула. — СПб.: Гуманитарика, 2005.
3. Методические указания по оценке технического состояния воздушных линий электропередачи напряжением 35–750 кВ и их элементов. — М.: Фирма ОРГРЭС, 1994.
4. Печенина Т.С. Экономика предприятия. М.: ФГОУ ВПО Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина, 2013.
5. Утеулиев Б.А., Тарасов А.Г. Адаптация метода ультразвукового контроля прочности бетона к оценке остаточного ресурса железобетонных стоек опор воздушных линий электропередачи. // Вестник КазНТУ. — 2015. — № 1 (107). — С. 284–292.
6. Утеулиев Б.А. Определение остаточного ресурса железобетонных опор воздушных линий электропередачи 110 кВ и выше. // Энергетик. — 2017. — № 3. — С. 13–17.
7. Утеулиев Б.А., Тарасов А.Г. Ультразвуковой метод контроля прочности бетона применительно к железобетонным центрифугированным стойкам опор ВЛ. // Куатты энергетика КЗ. — 2015. — №1 (01). — С. 61–87.
8. Волоховский В.Ю. и др. Оценка технического состояния воздушных линий электропередачи методами магнитной дефектоскопии. // Энергия единой сети. — 2016. — № 1 (24). — С. 42–51.
9. РД 34.20.504-94. Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35–800 кВ. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.
10. ГОСТ 839-80. Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия. — М.: Издательство стандартов, 2002.
11. ГОСТ Р 51177. Арматура линейная. Общие технические условия. — М.: Госстандарт России, 2017.
12. ГОСТ 6490-93. Изоляторы линейные подвесные тарельчатые. Общие технические условия. — Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1993.
13. Методика оценки технического состояния линий электропередачи 110 кВ и выше. — М.: Фирма ОРГРЭС, 2013.
14. Утеулиев Б.А. Оценка остаточного ресурса ВЛ 110 кВ и выше и определение сроков реконструкции. // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Сб. науч. трудов 89-го заседания Международного научного семинара имени Ю.Н. Руденко. — 2017 — С. 669–677.