

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»**

**ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ
ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Практикум

**Казань
2021**

УДК 621.311:658.562

ББК 31.279-04

Д44

Д44 Диагностика состояния высоковольтных опор линий электропередачи: практикум / составители : М. Ш. Гарифуллин, О. В. Воркунов. – Казань: КГЭУ, 2021. – 24 с.

Практикум содержит две лабораторные работы, при выполнении которых обучающиеся знакомятся с некоторыми практическими методами контроля состояния деревянных и железобетонных опор, согласно действующим нормативным документам, с использованием соответствующего инструментария. Рассмотрены типовые ситуации, возникающие при поиске дефектов, в том числе скрытых, приведены критерии определения степени повреждения и отбраковки.

Предназначен для студентов очной формы обучения по образовательной программе направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность (профиль) «Электроэнергетические системы и сети», а также для широкого круга читателей, интересующихся данным направлением.

УДК 621.311:658.562

ББК 31.279-04

ВВЕДЕНИЕ

Воздушные линии электропередачи (ЛЭП) на сегодняшний день являются важнейшим звеном электрических сетей для любого класса напряжений. Надежность и безопасность энергоснабжения целых городов, регионов и стран, во многом зависят от технического состояния ЛЭП. Несмотря на кажущуюся тривиальность, проектирование, изготовление, установка и дальнейшая эксплуатация данных конструкций являются сложными технологическими процессами. В настоящее время наибольшую протяженность имеют ЛЭП на деревянных и железобетонных опорах. По количеству отказов они находятся на третьем месте (после проводов и изоляторов), однако наиболее тяжелые последствия, приводящие к большим затратам на восстановление и недоотпуск электроэнергии, определяются повреждениями именно опор воздушных линий (ВЛ) электропередачи. Повреждения опор воздушных ЛЭП несут за собой не только экономические потери и затраты, связанные с восстановительными работами, но и приводят к аварийным отключениям электроэнергии и связанным с ними прямым и косвенным материальным убыткам, а также человеческим жертвам. К дефектам, приводящим к выходу опор из строя, относятся: нарушения однородности структуры, разрывы в сплошном покрытии, зоны коррозионного поражения, отклонения химического состава, размеров и пр.

Своевременное применение технических средств для контроля опор ЛЭП позволяет решить целый комплекс различного рода задач, а именно:

- обеспечивает безопасность персонала, проводящего ремонтные и монтажные работы ЛЭП;

- гарантирует безопасность и надёжность электроснабжения потребителей;

- позволяет рационально и эффективно планировать работы, связанные с ремонтом и заменой опор (уменьшает процент регулярно-заменяемых опор, так как помогает точно оценить их использованный ресурс). Это также приводит к уменьшению расходов на регулярную утилизацию.

Таким образом, оценка состояния опор является трудоёмким и сложным процессом, требующим внимания высококвалифицированного персонала.

Целью издания практикума является изучение студентами методики проведения дефектировки деревянных и железобетонных опор, оценки их текущего состояния и определения степени их повреждения для принятия решения о возможности последующего использования.

Выполнение лабораторных работ способствует формированию у обучающихся способности:

- проводить основные мероприятия по дефектировке деревянных и железобетонных опор и определение степени их дефектов;
- освоить принципы действия и методику использования наиболее распространенных измерительных приборов при проведении контроля деревянных и железобетонных опор.

Продолжительность каждой лабораторной работы – 4 часа.

Лабораторная работа № 1

ДЕФЕКТИРОВКА ДЕРЕВЯННЫХ ОПОР

Цель работы: изучить этапы проведения дефектировки деревянных опор, провести данную дефектировку.

Краткие теоретические сведения

В период эксплуатации опор линии электропередачи подвержены воздействию окружающей среды, которое приводит к снижению прочностных характеристик деталей и невозможности использования опоры в целом. Основными факторами этого воздействия являются атмосферные осадки и значительные перепады температуры, что в конечном итоге приводит к прогниванию оснований и узлов соединений. В связи с этим своевременное определение степени износа опор играет важнейшую роль как с экономической точки зрения, так и в плане предотвращения чрезвычайных ситуаций и несчастных случаев. Опасные сечения деревянных опор приведены на рис. 1.1.

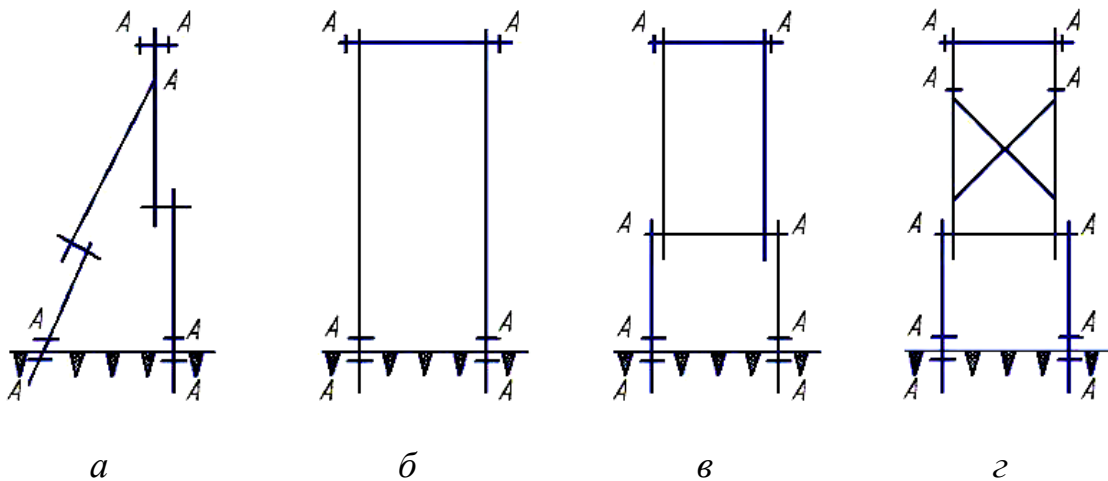


Рис. 1.1. Опасные сечения деревянных опор:

а – одностоечная опора с подкосом; *б* – П-образная опора без приставок;

в – П-образная опора с приставками; *г* – П-образная опора с раскосами;

A – место опасного сечения

Во избежание эксплуатации деревянных элементов опор воздушных линий электропередачи 0,4–10 кВ с чрезмерным загниванием должны выполняться следующие работы:

1. Проверка загнивания деталей деревянных опор которая осуществляется в следующей последовательности:

- первый раз через 3–6 лет после ввода линий в эксплуатацию;
- каждая последующая проверка не реже 1 раза в 3 года;
- перед каждым подъемом на опору;
- при смене деталей опоры (капремонт).

2. Проверка загнивания деревянных стоек опор, которая производится у основания и в местах сопряжения. Перед подъемом на опору необходимо тщательно осмотреть и простучать стойку, начиная от основания опоры и до уровня доступного для осмотра без подъема. Осмотром можно выявить внешнее круговое загнивание древесины и местные загнивания (отдельные очаги, гнили и трещины, где может иметь место глубокое и быстрое загнивание). Особенно тщательно следует осмотреть места, наиболее подверженные загниванию, зоны, так называемых, опасных сечений (в месте выхода стойки из земли, в месте наложения бандажа). Простукиванием, которое выполняется обычным молотком весом не менее 0,4 кг, можно выявить внутреннее загнивание. Здоровая древесина в сухом состоянии издает характерный звонкий звук, а в местах внутреннего загнивания глухой. Простукивание мерзлой древесины не дает возможности выявить очаги загнивания, так как звук искажается. Если при осмотре и простукивании выявлено внешнее загнивание, то необходимо измерить его глубину.

Деревянные приставки и стойки замеряются с трех сторон по окружности под углом 120° , а траверсы – сверху и снизу, после чего все отверстия должны быть забиты деревянными пробками, изготовленными из пропитанной антисептиком древесины для предотвращения последующего загнивания. Степень загнивания деревянных опор у основания определяется после полного просыхания поверхности земли; при этом ниже уровня земли на 30–40 см должны быть вырыты ямки вокруг пасынка (рис. 1.2). Проверку состояния и замер загнивания необходимо выполнять с откопкой стоек на глубину не менее 50 см. Зона загнивания захватывает 0,5 м выше и 0,5 м ниже уровня грунта.

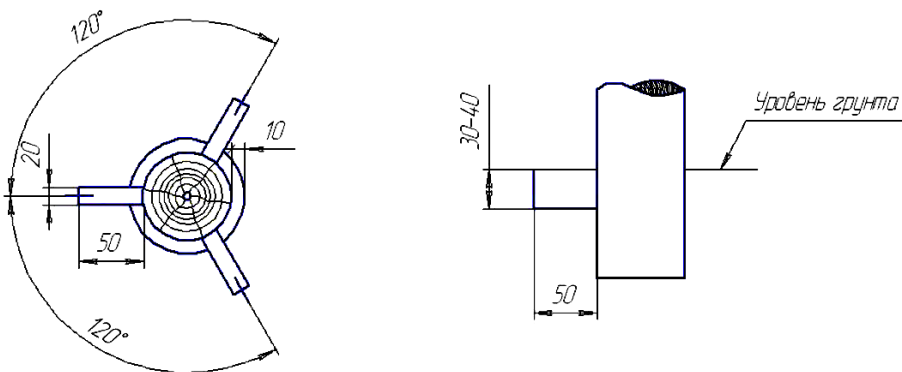


Рис. 1.2. Размеры (см) и расположение ямок, выкапываемых вокруг приставки, при определении степени загнивания древесины опоры ниже уровня грунта

Глубина загнивания в опасных сечениях определяется с использованием: а) щупа для контроля деревянных опор с делениями 5 мм; б) щупа для контроля гниения древесины с делениями 5 мм; в) обычного бурава для мелких отверстий; г) специального бурава с отверстием по оси.

При использовании щупа для контроля деревянных опор с делениями 5 мм (щупа для контроля гниения древесины) измерение глубины поверхностного загнивания производится введением его в древесину только нажатием руки. Щуп проникает через загнившие слои древесины и задерживается, встречая здоровый слой. Глубина проникновения щупа в древесину соответствует глубине наружного загнивания (рис. 1.3). При измерении специальным буравом – глубина загнивания определяется по вынимаемому столбику древесины (от начала и до конца выхода гнилой стружки).



Рис. 1.3. Внешний вид щупа для измерения прочности деревянных опор и его применение

Категорически запрещается подъем на опору без дополнительного укрепления в следующих случаях:

1. При внешнем загнивании, если глубина гнилого слоя:
 - более 2,5 см при диаметрах стоек пасынков 20–25 см;
 - более 3 см при диаметрах 25–30 см;
 - более 4 см при диаметре свыше 30 см.
2. Во всех случаях, если выявлено внутреннее загнивание.
3. В случаях установки деревянных стоек на нестандартных пасынках (например, круглых шахтного типа).
4. В случаях наличия на пасынках трещин, сколов бетона, оголения арматуры и прочих конструктивных дефектов (для железобетонных опор).

Результаты измерений заносятся в ведомость (журнал) учета загнивания древесины не позже следующего рабочего дня после замеров. На основании полученных выводов сравнения с минимально допустимым диаметром для опор данного типа и оценки состояния деталей с учетом местных условий, в журнале необходимо дать заключение о проверяемой детали, а именно:

- оставить в эксплуатации;
- взять под контроль;
- сменить при очередном капитальном ремонте;
- сменить немедленно.

На всех дефектных опорах несмываемой краской наносится предупреждающий знак на высоте 1,5–2 м от уровня земли – круговое кольцо красного цвета. Работы на отбракованных опорах разрешаются только с механизмов для подъема и спуска людей или после предварительного укрепления опор.

Оборудование и приборы для проведения исследования

В данной работе используются металлические щупы: для контроля деревянных опор, для контроля гниения древесины, фрагменты деревянной опоры линий электропередач.

Рабочее задание

1. Изучите теоретические сведения.
2. По указанию преподавателя осмотрите фрагменты деревянных опор.
3. Используя металлические щупы, определите среднюю толщину наружного здорового слоя опоры и сделайте вывод о ее состоянии и возможности дальнейшей эксплуатации (для оценки качества деревянной опоры используйте методику расчета механической прочности).
4. Оформите отчет о проделанной работе (Приложение) и сделайте вывод о состоянии опор воздушной ЛЭП.

Методика определения механической прочности древесины опор линий электропередачи при внутреннем загнивании

При отбраковке деревянных опор с внутренним загниванием используйте следующий метод:

1. Условно примите, что при любой форме внутреннего загнивания древесины здоровая ее часть представляет в сечении круговое кольцо с ядром в центре (пример полного внутреннего загнивания представлен на рис. 1.4, а, неполного внутреннего загнивания – на рис. 1.4, б).

2. Путем проведения нескольких измерений (двух для траверсы и трех для прочих деталей) определите среднюю толщину наружного здорового слоя древесины, диаметр здоровой сердцевины (ядра), а также среднюю толщину гнилого слоя. Для некоторых деталей опоры, расположенных вертикально или наклонно (пасынков, стоек, упоров, раскосов), прибор установите под углом 120°. Для деталей, расположенных горизонтально

(траверсы, распорки и т.п.), измерение проведите в двух точках (сверху и снизу детали в одной плоскости). Первое измерение степени загнивания сделайте в месте наибольшего дефекта опоры, определенного на основе предварительного осмотра и простукивания.

3. Выявленную измерениями здоровую часть детали с внутренним загниванием, имеющей момент сопротивления на изгиб W , приравняйте к равнопрочной детали, имеющей круглое сечение с вполне здоровой древесиной (равнопрочное сечение).

4. Отбраковку, так же как и при наружном загнивании, произведите на основе сравнения диаметра равнопрочного сечения (эквивалентный диаметр d_3 для кольца и d_0 для кольца с ядром) с минимально допустимым диаметром для данной детали.

5. Значения указанных выше величин W , d_3 , d_0 для каждого определенного случая найдите по кривым рис. 1.5, построенным по приводимым ниже формулам (рис. 1.5, график № 1):

$$d_3 K_1 = \sqrt[3]{\frac{D^4 - d^4}{D}},$$

где D – наружный диаметр кольца, см; d – внутренний диаметр кольца, см; K_1 – коэффициент, учитывающий дополнительное ослабление прочности древесины за счет ее старения, неоднородности и прочих скрытых дефектов. K_1 принимается (в зависимости от толщины σ наружного здорового слоя древесины) равным 0,7–1 (рис. 1.5, график № 2):

$$W = 0,1D^3,$$

где W – момент сопротивления на изгиб для круга, см³; D – диаметр круга, см.

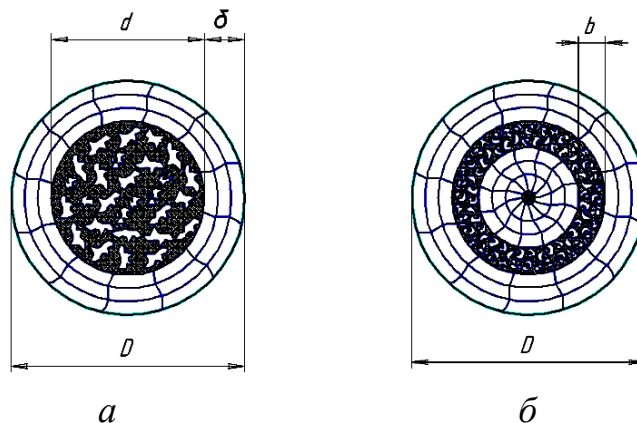


Рис. 1.4. Условное сечение детали деревянной опоры:
 а – при полном внутреннем загнивании; б – при неполном внутреннем загнивании

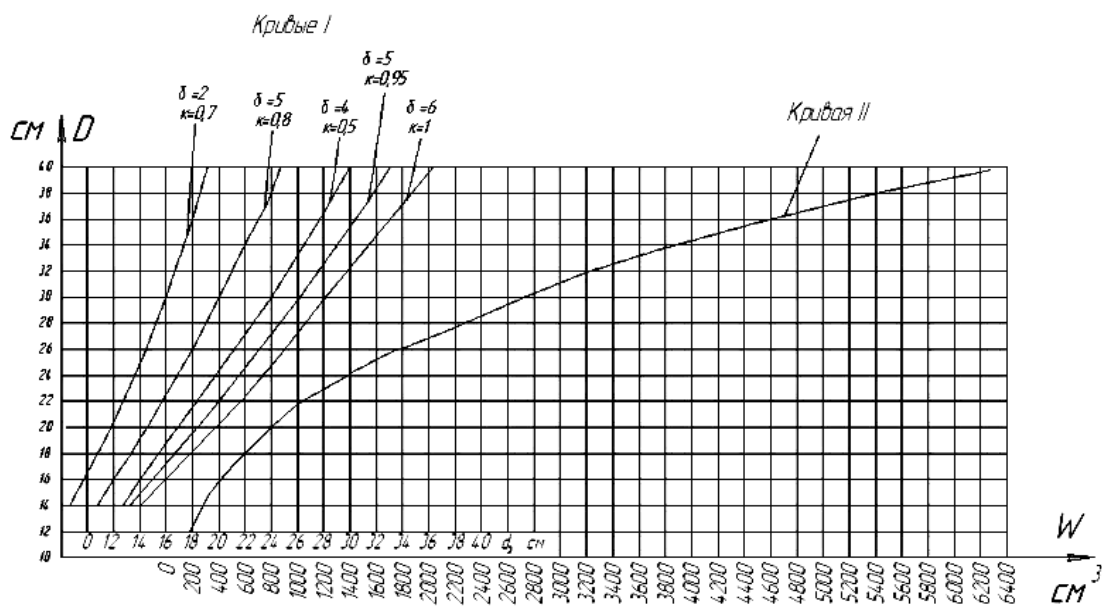


Рис. 1.5. Кривые зависимости эквивалентных диаметров и моментов сопротивлений: I – для опор с полным загниванием; II – для опор с неполным загниванием

6. При определении эквивалентного диаметра d_0 для сечения в форме кольца с ядром предварительно найдите его момент сопротивления. Для практических целей в данном случае этот момент сопротивления может быть принят равным сумме моментов сопротивления кольца W_3 и ядра W_c . По графику № 2 для момента сопротивления W_0 найдите затем соответствующий диаметр d_0 равнопрочного сечения. При этом дополнительно руководствуйтесь следующим:

1) ослабление древесины по месту внутреннего загнивания сквозными трещинами или крупными сучками учитывайте при отбраковке путем уменьшения найденного по кривым эквивалентного диаметра на 1–2 см;

2) при наличии в одном и том же сечении наружного и внутреннего загнивания сначала по наружному, не принимая во внимание внутреннее, определите диаметр оставшейся здоровой древесины, а затем, приняв этот диаметр за наружный, произведите отбраковку по внутреннему загниванию;

3) определение эквивалентных диаметров (по кривым) не требуется в следующих случаях:

а) деталь опоры при полном внутреннем загнивании имеет среднюю толщину наружной здоровой части древесины 2 см и менее (в этом случае деталь подлежит немедленной замене);

б) деталь опоры при внутреннем загнивании (полном и неполном) имеет среднюю толщину наружного здорового слоя древесины более 6 см (в этом случае деталь по внутреннему загниванию не отбраковывается);

в) деталь опоры при неполном внутреннем загнивании имеет среднюю толщину наружного здорового слоя древесины 2 см и менее (в этом случае загнивание следует учитывать как наружное (с поверхности) с глубиной, равной средней глубине внутреннего загнивания).

Примеры отбраковки деревянных опор при внутреннем загнивании

Пример 1. Приставка с наружным диаметром в опасном сечении $D = 30$ см имеет полное внутреннее загнивание по тому же сечению (рис. 1.6, а). Минимально допустимый диаметр данной приставки $d_{\min} = 19$ см. Результаты измерений: 3/10; 4/10; 5/10. В числителе указывается, на какой глубине (в сантиметрах) от поверхности начинается внутреннее загнивание, а в знаменателе – на какой глубине оно заканчивается. По месту загнивания имеется сквозная продольная трещина.

Решение. Поскольку в данном случае загнивание внутреннее полное, сечение здоровой части имеет форму кольца. Средняя толщина наружной здоровой части древесины составит:

$$\delta = \frac{3 + 4 + 5}{3} = 4 \text{ см.}$$

По кривой I (рис. 1.6) для $\delta = 4$ см и $D = 30$ см находим эквивалентный диаметр $d_3 = 24$ см. Учитывая наличие сквозной трещины, уменьшаем найденный диаметр на 1 см и получаем $d_3 = 23$ см. Сравнивая этот диаметр равнопрочного круглого сечения с минимально допустимым для данной приставки, устанавливаем, что приставка не подлежит замене.

Пример 2. Приставка с наружным диаметром в опасном сечении $D = 26$ см имеет неполное внутреннее кольцевое загнивание по тому же сечению (рис. 1.6, б). Минимально допустимый диаметр приставки $d_{\min} = 18$ см. Результаты измерений: 2/5; 3/6; 4/7.

Решение. Поскольку загнивание внутреннее неполное, сечение здоровой части имеет форму кольца с ядром в центре. Средняя толщина наружного здорового слоя древесины кольца составит:

$$\delta = \frac{2 + 3 + 4}{3} = 3 \text{ см.}$$

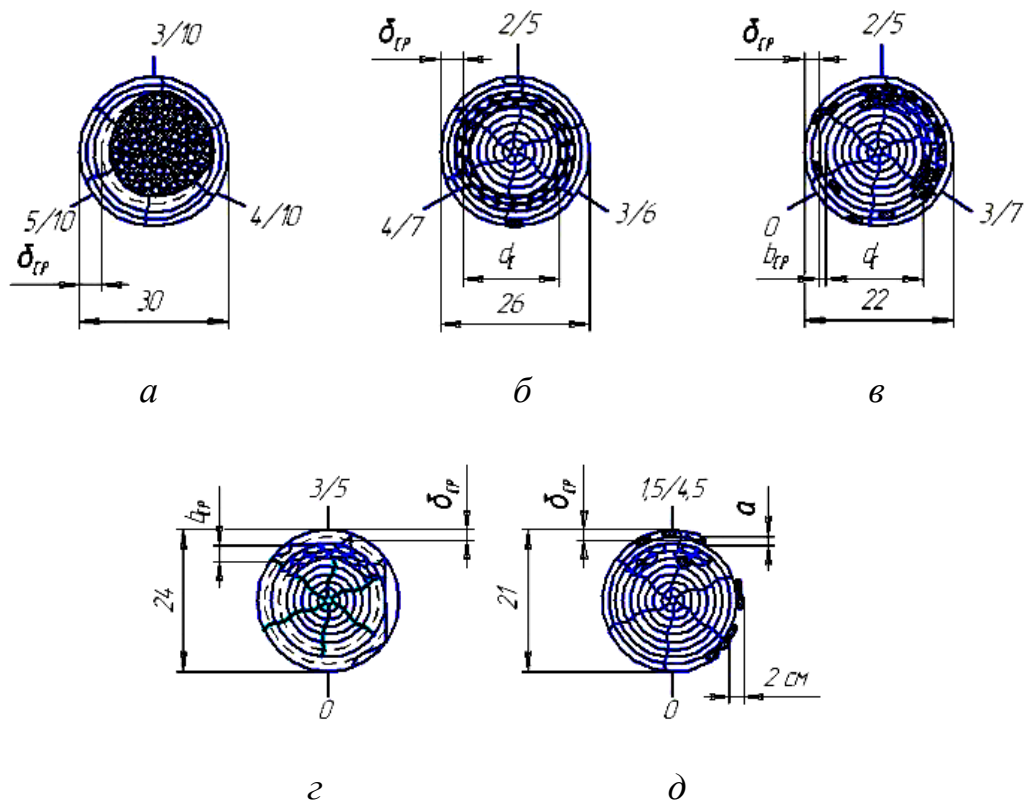


Рис. 1.6. Примеры внутреннего загнивания древесины:
a – приставка имеет полное загнивание; *б, в* – приставка имеет неполное загнивание;
г – верхнее сечение траверсы с неполным загниванием;
д – нижнее сечение траверсы с нарушением внешнего слоя

По кривой II (рис. 1.5) для $\delta = 3$ см и $D = 26$ см находим эквивалентный диаметр для кольца $d_3 = 18$ см. В данном случае учитывается также прочность здоровой сердцевины (ядра). Диаметр ее будет равен:

$$d_c = 26 - \frac{5 + 6 + 7}{3} 2 = 14 \text{ см.}$$

По кривой II (рис. 1.5) находим:

для $d_3 = 18$ см – $W_3 = 580 \text{ см}^3$;

для $d_c = 14$ см – $W_c = 280 \text{ см}^3$.

Для определения эквивалентного диаметра d_0 сечения в форме кольца с ядром найдем его момент сопротивления. Он принимается приближенно равным сумме W_3 и W_c , т.е. 860 см^3 . По тому же графику для $W_0 = 860 \text{ см}^3$ находим соответствующий диаметр $d_0 = 20,5$ см, который оказывается больше минимально допустимого. Таким образом, приставка замене не подлежит.

Пример 3. Приставка с наружным диаметром в опасном сечении $D = 22$ см имеет в этом сечении внутреннее загнивание, как показано на рис. 1.6, в. Оно приравнивается к кольцевому внутреннему загниванию. Минимально допустимый диаметр равен 16 см. Результаты измерений: первого – 2/5; второго – 3/7; третьего – загнивание не обнаружено.

Решение. Третьим измерением загнивание не обнаружено и не определена в то же время толщина наружного здорового слоя древесины в этом месте. В этом случае среднюю толщину наружного здорового слоя $\delta_{\text{ср}}$ определяем по двум измерениям, а среднюю толщину гнилого слоя $v_{\text{ср}}$, которую условно считаем распределенной по окружности, по трем измерениям. Таким образом:

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{2+3}{2} = 2,5 \text{ см.}$$

По графику № 1 находим: $d_3 = 14,5$ см.

$$v_{\text{ср}} = \frac{(5-2) + (7-3)}{3} = 2,3 \text{ см,}$$

$$d_{\text{ср}} = D - (\delta_{\text{ср}} + v_{\text{ср}})2 = 22 - (2,5 + 2,3)2 = 12,4 \text{ см.}$$

Моменты сопротивления для найденных диаметров d_3 и d_c находим по графику № 2: $W_3 = 300 \text{ см}^3$; $W_c = 200 \text{ см}^3$. W_0 принимаем равным 500 см^3 . По графику № 2 находим диаметр равнопрочного сечения $D_0 = 17$ см. Приставка замене не подлежит.

Пример 4. Траверса, диаметр которой в опасном сечении $D_1 = 24$ см (рис. 1.6, з), имеет по этому сечению загнивание, определяемое следующими измерениями; первое – 3/5; второе – загнивание не обнаружено. По другому опасному сечению $D_2 = 21$ см (рис. 1.6, д) траверса имеет загнивание, определяемое следующими измерениями: первое – 1,5/4,5; второе – загнивание не обнаружено. Минимально допустимый диаметр для данной траверсы $d_{\text{min}} = 16$ см. В опасном сечении траверса имеет врубку глубиной 2 см.

Решение. Проверка траверсы по первому сечению. Принимая наличие врубки за наружное загнивание, наружный диаметр траверсы в этом сечении принимаем равным

$$D_1 = 24 \frac{(2+0)}{2} = 22 \text{ см.}$$

Внутреннее загнивание траверсы по этому сечению приравниваем к внутреннему кольцевому загниванию со средней толщиной здорового наружного слоя $\delta = 3$ см. По кривой I для $D_1 = 22$ см и $\delta = 3$ см находим

эквивалентный диаметр $D_{\text{эл}} = 15,8$ см. Средняя толщина гнилого кольцевого слоя, определяемая по двум измерениям, равна

$$v_{\text{ср}} = \frac{(5 - 3) + 0}{2} = 1 \text{ см.}$$

Диаметр здоровой сердцевины равен

$$d_{\text{зс}} = D_1 - (\delta_{\text{ср}} + v_{\text{ср}})2 = 22 - (3 + 1)2 = 14 \text{ см.}$$

По кривой II по известным $d_{\text{эл}}$ и $d_{\text{зс}}$ находим: $W_{\text{эл}} = 400 \text{ см}^3$; $W_{\text{зс}} = 280 \text{ см}^3$. Принимая $W = 680 \text{ см}^3$, находим по этой же кривой II соответствующий ему диаметр равнопрочного сечения $d = 19$ см. Сравнивая его с минимально допустимым диаметром $d_{\text{мин}} = 16$ см, приходим к выводу, что траверса по данному сечению замене не подлежит.

Проверка траверсы по второму сечению. По этому сечению траверса имеет внутреннее одностороннее загнивание, которое условно приравнивается к внутреннему кольцевому загниванию с толщиной здорового наружного слоя, равной $\delta = 1,5$ см, т.е. менее 2 см. Такое загнивание учитывается как наружное, средняя глубина которого равна

$$d_{\text{ср}} \frac{(4,5 - 1,5) + 0}{2} = 1,5 \text{ см.}$$

Учитывая, кроме того, наличие врубки с боковой стороны (рис. 1,6, д), получаем диаметр здоровой части древесины в этом сечении, равный

$$d_0 = 21 - \frac{(4,5 - 1,5) + 2 + 0}{3} 2 = 17,66 \text{ см.}$$

Врубка учитывается как загнивание с третьей стороны. При минимально допустимом диаметре $d_{\text{мин}} = 16$ см траверса не подлежит замене.

Контрольные вопросы

1. Перечислите виды дефектов, возникающих у деревянных опор.
2. Как определить степень загнивания деревянной опоры?
3. Назовите опасные сечения деревянных опор линий электропередачи.
4. Расскажите, каким образом защищают деревянные опоры от коррозии.
5. Какие существуют способы закрепления опор в грунте?
6. Какими приборами осуществляется контроль степени загнивания деревянных опор?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ДЕФЕКТИРОВКА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР

Цель работы: изучить этапы проведения дефектировки железобетонных опор, провести данную дефектировку.

Краткие теоретические сведения

Характерными дефектами железобетонных опор и фундаментов являются: продольные и поперечные трещины стоек опор; выбоины, отверстия в бетоне; смещение каркаса арматуры, выход арматуры на поверхность бетона; коррозия арматуры; некачественная заделка опор в грунте, отсутствие ригелей (увеличивают боковую поверхность фундаментов для повышения горизонтальных нагрузок); трещины, сколы и осыпание бетона фундаментов; неплотное прилегание опоры к поверхности фундамента; отклонение опоры от вертикального положения. Дефекты в железобетонных опорах и фундаментах образуются из-за нарушения технологии изготовления, в процессе эксплуатации под действием нагрузок, периодического увлажнения, замораживания, что в итоге приводит к разрушению бетона, коррозии арматуры, снижению несущей способности опор и фундаментов, а также сокращению их срока службы.

В зависимости от характера дефектов железобетонных опор применяются следующие виды ремонта: устранение поверхностных дефектов, восстановление, защита арматуры, бетона опор, фундаментов, усиление опор. Эффективность ремонта железобетонных конструкций в большей мере зависит от качества подготовки ремонтируемых поверхностей. Поверхность конструкции (участка) перед нанесением покрытия очищают до плотного бетона, особенно тщательно обрабатывают участки с его отслоением, шелушением и в зонах коррозии арматуры. Не допускаются к дальнейшей эксплуатации железобетонные опоры действующих воздушных линий со следующими дефектами: отклонение вершины опоры от вертикальной оси превышает 50 см; заглубливание промежуточной опоры менее проектного; ширина поперечных трещин в зоне воздействия наибольшего механического воздействия.

Осмотр производится с откопкой на 0,5 м от стойки или приставки в земле. Осмотр опоры может производиться с подъемом по стойке, приставке или с помощью подъемника. При осмотре стойки с подъемом на опору необходимо убедиться в ее достаточной устойчивости и прочности. Подъем на опору после откопки ее на 0,5 м не допускается.

Измерение ширины раскрытия трещин, щелей, раковин и т.п. производится с помощью металлической линейки с ценой деления 1 мм в зависимости от ширины раскрытия трещины щели, размера раковины, скола или сквозного отверстия. Глубина трещины, щели, раковины измеряется щупом или металлической линейкой. При этом фиксируются также их характер, размеры, направление (продольная, поперечная), количество в одном сечении (рис. 2.1). Виды дефектов в зависимости от конструкции и элемента опоры представлены в табл. 2.1.



Рис. 2.1. Внешний вид и методика измерения железобетонной опоры

Таблица 2.1

Виды дефектов в зависимости от конструкции и элемента опоры

Конструкция опоры, элемент опоры	Характеристика дефекта	Вид ремонта
1	2	3
Трещины в бетоне		
1. Вибрированная или центрифугированная стойка с ненапряженной или напряженной стержневой арматурой; вибрированная приставка	Поперечные трещины шириной раскрытия менее 0,3 мм	Ремонт не требуется
	Поперечные трещины шириной раскрытия 0,3–0,6 мм	Поверхность бетона в зоне образования трещин покрасить краской или заделать полимерцементным раствором
	Поперечные трещины шириной раскрытия более 0,6 мм	Установить бандаж. Если трещины расположены по длине более 2 м от уровня земли, стойку заменить

Продолжение табл. 2.1

1	2	3
2. Вибрированная или центрифугированная стойка с напряженной арматурой из высокопрочной проволоки (в виде отдельных проволок или прядей)	Поперечные трещины шириной раскрытия до 0,05 мм	Ремонт не требуется
	Поперечные трещины шириной раскрытия от 0,05 до 0,3 мм	Поверхность бетона в зоне расположения трещин покрасить краской
	Поперечные трещины шириной раскрытия более 0,3 мм	Установить бандаж. Если трещины расположены по длине более 2 м от уровня земли, стойку заменить
3. Вибрированная или центрифугированная стойка любого конструктивного исполнения; вибрированная приставка	Продольные трещины шириной раскрытия до 0,05 мм независимо от количества трещин	Ремонт не требуется
	Продольные трещины шириной раскрытия от 0,05 до 0,3 мм независимо от количества трещин	Поверхность стойки в зоне образования трещин закрасить краской
	Продольные трещины шириной раскрытия от 0,3 до 0,6 мм при количестве трещин не более двух в одном сечении	Установить бандаж. При длине трещин более 3 м стойку (приставку) заменить
Раковины, щели, пятна на поверхности		
4. Вибрированная или центрифугированная стойка любого конструктивного исполнения; железобетонная приставка	На поверхности бетона выступают темные полосы, расположенные по виткам поперечной арматуры	Поверхность бетона в зоне, где выступают темные полосы, закрасить краской
5. Вибрированная или центрифугированная стойка любого конструктивного исполнения; железобетонная приставка	Оголена поперечная арматура на длине стойки не более 1,5 м	Очистить арматуру от ржавчины. Поверхность бетона в месте оголения поперечной арматуры закрасить краской
	Пористый бетон или узкая щель вдоль стойки	Заделать полимерцементным раствором
	На поверхности бетона выступают пятна и потеки ржавчины (наличие в бетоне инородных включений)	Поверхность бетона в зоне потеков и пятен закрасить краской
	Отслоение поверхностного слоя бетона толщиной 3–5 мм	Поверхность бетона в зоне отслоения заделать полимерцементным раствором
На поверхности бетона раковины размером 10 × 10 мм и глубиной до 10 мм	Заделать полимерцементным раствором	

1	2	3
	В бетоне раковины или сквозные отверстия площадью до 25 см ² (не более одной раковины или одного отверстия на стойку) при толщине бетонной стенки или защитного слоя в зоне отверстия или раковины не менее проектной	Установить бандаж. При количестве раковин или отверстий более одного – опору заменить
	То же при толщине бетонной стенки или защитного слоя менее проектной	Опору заменить
	В бетоне раковина или сквозное отверстие площадью более 25 см ²	Опору заменить

Оборудование и приборы для проведения исследования

В данной работе используются металлические щупы и линейки: для контроля продольных и поперечных трещин, выбоин, сколов и отверстий в бетоне, фрагменты железобетонной опоры линии электропередачи.

Рабочее задание

1. Изучите теоретические сведения.
2. По указанию преподавателя осмотрите фрагменты железобетонных опор.
3. Используя металлические щупы и линейку, определите ширину и длину поперечных и продольных трещин, имеющих сколов и раковин, сделайте вывод о состоянии опоры и возможности ее дальнейшей эксплуатации (для оценки качества железобетонной опоры примените методику расчета остаточной прочности).
4. Оформите отчет о проделанной работе (Приложение) и сделайте вывод о состоянии опоры воздушной линии электропередачи.

Методика определения остаточной прочности железобетонных опор линий электропередачи при наличии внешних дефектов

Определение состояния железобетонных стоек опор произведите по выборке, которую определите по результатам визуального обследования. При обследованиях выявите железобетонные стойки опор, имеющие

продольные или поперечные трещины, сквозные отверстия, сколы бетона до оголения арматуры, стойки с недопустимым продольным (поперечным) отклонением, отсутствующими или повреждёнными (деформированными) элементами конструкций. В качестве основного метода регистрации и документирования дефектов железобетонных опор в виде местных повреждений, поперечных и продольных трещин железобетонных стоек используйте съемки цифровой фотокамерой. При этом рядом с дефектом железобетонной опоры установите металлическую линейку с делениями. Это позволит определять размеры дефектов опор при компьютерной обработке изображений. После измерения и определения дефектов опоры на конкретном элементе, согласно табл. 2.1, сделайте вывод о необходимости ремонта или полной замены опоры.

Контрольные вопросы

1. Перечислите характерные дефекты железобетонных опор ВЛ.
2. Назовите причины, которые вызывают повреждения железобетонных опор и фундаментов ВЛ.
3. Охарактеризуйте группу дефектов железобетонных опор и фундаментов ВЛ.
4. Назовите виды ремонтов железобетонных опор и фундаментов ВЛ.
5. Каким оборудованием осуществляется дефектировка железобетонных опор?
6. Какие альтернативные опоры могут быть применены для линий электропередачи?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Методические указания по выполнению и оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе – технический документ, который содержит систематизированные данные об этой работе, описывает теорию, используемую в ней, последовательность действий, расчеты и результаты, полученные после выполнения.

Структурными элементами отчета по лабораторной работе являются:

- титульный лист;
- цель работы;
- теоретические сведения;
- экспериментальные результаты;
- анализ результатов работы.
- выводы по работе.

Титульный лист. Титульный лист является первой страницей отчета по лабораторной работе и служит источником информации, необходимой для поиска и обработки документа. На нем обязательно приводятся следующие данные:

- наименование учебного заведения;
- название кафедры;
- номер лабораторной работы;
- название лабораторной работы;
- данные о группе и студенте, выполнявшем лабораторную работу;
- данные о преподавателе, проверяющем отчет студента по лабораторной работе;
- город и год.

Цель работы. В отчете по лабораторной работе обязательно должна быть указана цель (цели) лабораторной работы.

Теоретические сведения. В этом разделе излагается краткое теоретическое описание изучаемого в работе явления или процесса, приводятся также необходимые расчетные формулы. Материал раздела не должен копировать содержание методического пособия, а ограничивается изложением основных понятий и законов, расчетных формул, таблиц, требующихся для дальнейшей обработки полученных экспериментальных результатов. Объем литературного обзора не должен превышать 1/3 части всего отчета.

Экспериментальные результаты. В этом разделе приводятся непосредственно результаты, полученные в ходе проведения работ: определенные значения величин, графики, таблицы, диаграммы.

Анализ результатов работы. Раздел отчета должен содержать подробный анализ полученных результатов, интерпретацию этих результатов на основе физических законов. Следует сравнить полученные результаты с известными литературными данными, обсудить их соответствие с существующим теоретическим моделям. Если обнаружено несоответствие полученных результатов и теоретических расчетов или литературных данных, необходимо обсудить возможные причины этих несоответствий.

Выводы по работе. В выводах кратко излагаются результаты работы: полученные экспериментально или теоретически значения физических величин, их зависимости от условий эксперимента или выбранной расчетной модели, указывается их соответствие или несоответствие физическим законам и теоретическим моделям, возможные причины несоответствия.

Правила оформления отчета

Отчет по лабораторной работе оформляется на бумаге стандартного формата А4 на одной стороне листа, которые сшиваются в скоросшивателе или переплетаются. Допускается оформление отчета по лабораторной работе в электронном виде средствами Microsoft Office с последующим закреплением в соответствующем курсе в системе MOODLE КГЭУ.

Текст работы должен быть напечатан через полтора интервала шрифтом Times New Roman, кегль – 12. Поля должны оставаться по всем четырем сторонам печатного листа: левое – не менее 30 мм, правое – не менее 10, нижнее – не менее 20 и верхнее – не 15 мм.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 153-34.3-20.662-98. Типовая инструкция по техническому обслуживанию и ремонту воздушных линий электропередачи напряжением 0,38–20 кВ с неизолированными проводами. – Москва : Издательство НЦ ЭНАС, 2003. – 36 с.

2. СНиП 2.06.08-87. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. – Москва : ФГУП ЦПП, 2004. – 30 с.

3. Барг, И. Г. Воздушные линии электропередачи. Вопросы эксплуатации и надежности / И. Г. Барг. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.

4. Правила устройства электроустановок. Раздел 2. Передача электроэнергии. – 7-е изд. – Москва : НЦ ЭНАС, 2003. – 160 с.

5. Логинова, С. Е. Проектирование воздушных линий электропередачи напряжением 0,38–20 кВ с самонесущими изолированными и защищёнными проводами. Т. 2. Одноцепные и двухцепные деревянные опоры / С. Е. Логинова, А. В. Логинов, В. М. Ударов. – Санкт-Петербург : ENSTO – «РОСЭП», 2008. – 291 с.

6. Логинова, С. Е. Проектирование воздушных линий электропередачи напряжением 0,38–20 кВ с самонесущими изолированными и защищёнными проводами. Т. 1. Конструкции одноцепных и двухцепных железобетонных опор / С. Е. Логинова, А. В. Логинов, В. М. Ударов. – Санкт-Петербург : ENSTO – «РОСЭП», 2008. – 251 с.

7. Демин, Ю. В. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах. Т. 1. Теоретические основы / Ю. В. Демин, Р. Ю. Демина, В. П. Горелов. – Москва – Берлин : Директ-Медиа, 2016. – 210 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Лабораторная работа № 1. Дефектировка деревянных опор	5
Лабораторная работа № 2. Дефектировка железобетонных опор	12
Приложение.....	20
Список рекомендуемой литературы	22

Учебное издание

**ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ОПОР
ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Практикум

Составители: **Гарифуллин** Марсель Шарифьянович,
Воркунов Олег Владимирович

Кафедра электроэнергетических систем и сетей КГЭУ

Редактор *М. С. Беркутова*
Компьютерная верстка *Т. И. Лунченковой*

Подписано в печать 01.01.2021. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 0,84. Заказ № 341 /эл.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ,
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51