

К вопросу обследования деревянных опор для воздушных линий электропередач для районов вечной мерзлоты

А.А. Чебровский, А.А. Иодчик

Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск

Аннотация: Статья содержит результаты обследования конструкций ЛЭП в рамках подготовки проектной документации на реконструкцию кабельных эстакад и опор ЛЭП в связи с увеличением диаметра кабелей и как следствие увеличением нагрузки на эстакады, расположенные в Чаунском районе Чукотского автономного округа. Представлены геодезическая съемка несущих конструкций (определение прогибов и перемещений конструкций), ведомости дефектов и повреждений, поверочные расчеты конструкций, мероприятия по усилению конструкций.

Ключевые слова: несущая способность, обследование сооружений, воздушные линии электропередач, деревянные конструкции, опоры, эстакады.

Работы и оценка действительного состояния конструкций проведены в соответствии с СП 13-102-2003 "Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений", ГОСТ 31937-2024 "Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния" и с применением отечественных методик, изложенных в [1-3] и зарубежных [4, 5].

Обмерные работы

Схемы расположения деревянных опор ВЛ - 6 кВ представлены на рис. 1.

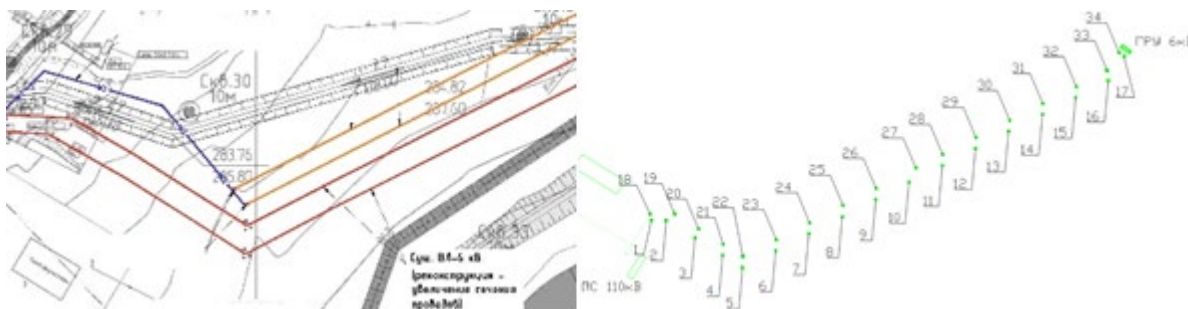


Рис. 1. План обследуемых объектов: деревянные опоры ВЛ - 6 кВ (34шт).

В ходе детального обследования деревянных опор ВЛ-6кВ установлены фактические геометрические параметры (линейные размеры, сечения).

Деревянные опоры ВЛ-6 кВ соответствуют серии 3.407-80м, Альбом II «Деревянные опоры воздушных линий электропередачи напряжением 6-10кВ для районов вечной мерзлоты».

Опоры №3-4,20-21,6-15,23-32 (П) Промежуточные опоры устанавливаются на прямых участках ВЛ. В нормальных условиях работы опоры не должны воспринимать усилия, направленных вдоль линии. Опоры соответствуют марке опоры Пб-3с серии 3.407-80м, Альбом II.

Опоры №1,18,17,34 (К) Концевые опоры устанавливаются в начале и в конце линии и испытывают одностороннее тяжение проводов. Опоры соответствуют марке опоры Аб-1с серии 3.407-80м, Альбом II.

Опоры №2,19,5,22,16,33 (УА) Угловые анкерные опоры устанавливаются при углах поворота ВЛ до 90° а также при одновременном использовании их в качестве переходных опор. Опоры соответствуют марке опоры УАб-1с серии 3.407-80м, Альбом II.



Фото 1. Общий вид деревянных опор ВЛ-6кВ. (6-17, 24-34).

Средний шаг деревянных опор ВЛ 6кВ оставляет: 30-40м. Средняя высота деревянных опор ВЛ 6кВ оставляет: 10-11м. Крепление стоек и подкоса к приставкам принято на металлических болтах М20. Опоры составные на приставках в сверленных котлованах. На фото 1,2 представлены общие виды опор.



Фото 2. Общий вид деревянных опор ВЛ-6кВ. (1-5, 18-23)

Физико-механические характеристики материалов

Средняя прочность деревянных конструкций опор ВЛ-6кВ определялась в соответствии с ГОСТ 16483.10-73 «Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон». Образцы для испытаний в лабораторных условиях отбирались из верхней части конструкции приставок подкосов угловых анкерных опор.

Состояние конструкций

В процессе обследования опор ВЛ-6кВ обнаружены следующие виды дефектов, снижающих несущую способность [6-8]:

В стойке опоры обнаружены продольные усушечные трещины глубиной до 1/3 и длиной до половины длины стойки опоры

В поперечине опоры обнаружены продольные усушечные трещины глубиной до $1/3$ и длиной до половины длины стойки опоры

В приставке опоры обнаружена продольная усушечная трещина глубиной до $1/3$ и длиной до $2/3$ длины приставки опоры

В стойке опоры в месте крепления траверсы обнаружена продольная трещина глубиной до 0,5м

В траверсе опоры в местах двух врубок для крепления изоляторов обнаружены продольные усушечные сквозные трещины длиной до $1/4$ длины траверсы опоры.

В траверсе опоры в местах крепления изоляторов выполнены две врубки глубиной более чем на 1 см, что не соответствует требованиям серии, что привело к ослаблению сечения траверсы.

Припасовка деревянной стойки опоры к приставке выполнено болтами диаметром 20мм. Вследствие усушки древесины образовался зазор между стойкой и приставкой до 0,5см., отсутствует плотный контакт между этими конструкциями, стойка с траверсой висит на двух болтах, болты деформировались от нагрузки, затянуть гайки болтов для обеспечения контакта стойкой и приставки не представляется возможным из-за коррозии резьбы болтов.

Отклонение от вертикали стоек опор до 36мм включительно.

Отклонение от горизонтали траверс опор до 68мм включительно.

Деревянные опоры (№21-23) затопило водой, выполнить осушение территории, дренаж или перенос опоры.

Результаты оценки остаточной несущей способности по внешним признакам

Расчет остаточного ресурса проводится на основании суммарной оценки технического состояния конструкций здания, в соответствии с [9] и

«Рекомендациями по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам» / АО ЦНИИПромзданий. - М., 2001 г.

Таблица 1. Остаточный ресурс деревянных опор

Срок эксплуатации t_f лет	Наименование конструкций	Общая поврежденность ϵ	Относительная надежность		Постоянная износа, λ	Срок эксплуатации до кап. ремонта, в годах, $t_{кр}$	Срок эксплуатации до аварийного состояния, t_a	Остаточный ресурс O_p
			y	$-\ln y$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	Деревянные опоры №1-34	0,12	0,88	0,13	0,01	10,97	15,09	6,09

На основании оценки условий работы деревянных опор ВЛ-6кВ №1-34, допускается эксплуатация сроком на 1 год, до проведения капитального ремонта.

Расчет деревянных опор ВЛ-6кВ с учетом применения провода АС-120 в связи с реконструкцией ВЛ.

Приняты габариты и наиболее допускаемые стрелы провеса проводов для АС для труднодоступной местности. Стрела провеса проводов – 2,25м, габариты провеса проводов до земли – 5м. К этой категории относятся районы тундры, лесотундры и тайги, не посещаемые людьми или посещаемые только техническим персоналом.

Величины допускаемых нормативных напряжений и тяжений в проводах, приняты в типовом проекте независимо от категории местности.

Промежуточные и угловые промежуточные опоры разработаны с креплением всех применяемых в данном проекте марок проводов на штыревых изоляторах ШФ10-В по ГОСТ 14885-69. На анкерных, концевых и анкерно-угловых опорах, независимо от категории местности, крепление проводов принято на подвесных изоляторах типа ПФ6-Б ГОСТ12650-67. ГОСТ 9463-2016 Лесоматериалы круглые хвойных пород.

Технические условия 2 - й сорт - лесоматериалы круглые среднего и выше среднего качества без специальных требований к чистой древесине.

Сучки допускаются в такой степени, какая является средней для каждой породы; 3 - й сорт - лесоматериалы круглые среднего и ниже среднего качества. Допускаются все характеристики качества, незначительно снижающие обычные свойства древесины.

Технические требования: норма ограничения пороков древесины для 2 сорта - трещины боковые от усушки допускаются глубиной не более $1/20$ диаметра соответствующего торца.

Расчетные схемы промежуточной одноцепной опоры изображены на рис. 2, где G_T , G_P - соответственно вес троса, провода и гирлянды, Q_T , Q_P - ветровые нагрузки, T_P - тяжение провода.

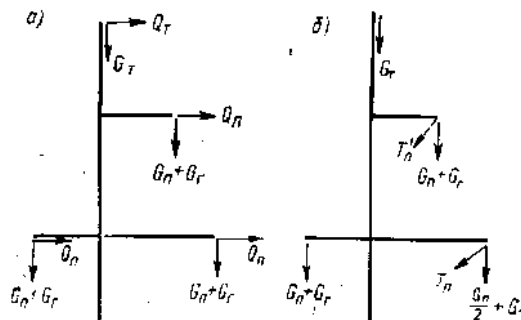


Рис. 2. Схема нагрузок на промежуточную опору:

а - при нормальном режиме; б - при аварийном режиме

Расчетные схемы анкерной концевой опоры изображены на рис. 3. В нормальном режиме анкерные опоры, предназначенные для установки на прямых участках трассы, рассчитываются так же, как промежуточные опоры: на давление ветра максимальной скорости при отсутствии гололеда и на ветровое давление при гололеде. Тяжения проводов, закрепленных с обеих сторон анкерной опоры в натяжных гирляндах, могут быть различными (в зависимости от условий работы проводов на участках, ограничиваемых анкерными опорами).

Таблица 2. Сбор постоянных нагрузок на деревянную промежуточную опору ВЛ-6кВ с маркой провода АС 120/19

Наименование нагрузок	Нормативные нагрузки, кН	Коэффициент надежности по нагрузке, γ_f	Расчетные нагрузки, кН
1	2	3	4
Собственный вес опоры. Плотность сосны 820кг/м ³ / Наибольший шаг промежуточных опор по обмерам составил 47,04м. Высота стойки 9.5м. Диаметр бревна стойки и приставки 26см. Длина траверсы 2.5м. Диаметр траверсы 0,18м. Длина приставки 3,0м.	5,95	1,1	6.55
Собственный вес провода марки АС 120/19. Погонный вес 0,471кг/м, диаметр 15,2мм, Площадь сечения провода по элементам 136,43мм ² , механическое напряжение для наибольшей нагрузки 135Н/мм ² . Коэффициент температурного линейного расширения $\alpha=19,2 \cdot 10^{-6} 1/С$; Модуль упругости $E=8250$ даН/мм ² Наибольший провис провода по обмерам составил 2,21м. Высота подвески провода от земли 9.5м. Проводов 3шт. Длина дуги провиса провода 47,31м	0,67	1,1	0.74
Для АС 120/19 и АС 95/16 и пролетом менее 80м защита от вибрации не требуется	-	-	-
Собственный вес гирлянды изоляторов 0,5кН	0,5	1.1	0.55
Натяжение провода максимально допустимое 13,5кг/мм ² . Проводов 3шт. $3 \cdot 0,135 \cdot 15,2 = 6,15$ кН (для промежуточных опор не учитывается)	-	1.5	-
Всего	7,12		7,83

Расчетные схемы анкерной угловой опоры изображены на рис. 4. Анкерные угловые опоры рассчитываются на полное одностороннее тяжение проводов и тросов.

Механический (ручной) расчет промежуточной опоры линии электропередачи по методике [10].

Таблица 3. Сбор временных нагрузок на деревянную промежуточную опору ВЛ-6кВ с маркой провода АС 120/19

Наименование нагрузок	Нормативные нагрузки, кН	Коэффициент надежности по нагрузке, γ_f	Расчетные нагрузки, кН
1	2	3	4
<p>Нормативная толщина стенки гололеда, для высоты 10 м над поверхностью земли: V район ($b=0.3$ см).</p> <p>Максимальные нормативные скоростные напоры ветра и толщину гололедно-изморозевых отложений определяют, исходя из их повторяемости 1 раз в 10 лет для ВЛ 6-330 кВ. Проводов 3шт. Длина дуги провеса провода 47,31м</p> <p>На провод АС-120/19, на бревно стойки.</p> <p>Площадь поверхности стойки длиной 11м и диаметром 26см.</p>	<p>5,33</p> <p>1,42</p>	<p>2,0</p> <p>1,3</p>	<p>10,66</p> <p>1,85</p>
<p>ПУЭ «Правила устройства электроустановок» Издание 7.</p> <p>П.2.5.41. Нормативное ветровое давление W_0, соответствующее 10-минутному интервалу осреднения скорости ветра (v_0), на высоте 10 м над поверхностью земли принимается в соответствии с картой районирования территории России по ветровому давлению или по региональным картам районирования.</p> <p>Проводов 3шт. Длина дуги провеса провода 47,31м</p> <p>Нормативная ветровая нагрузка: IV район</p> <p>Нагрузка на провод АС-120/19 без гололеда и с гололедом</p>	<p>2,55</p>	<p>1,4</p>	<p>3,57</p>
<p>Ветровая нагрузка на опору:</p> <p>Диаметр бревна стойки 26см. Ветровая площадь стойки $F=11*0,26=2,86\text{м}^2$.</p> <p>Без учета гололеда и с гололедом</p>	<p>1,14</p> <p>0,57</p>	<p>1,2</p> <p>1,0</p>	<p>1,37</p> <p>0,57</p>
<p>Нормативная снеговая нагрузка: IV район (учитывается для расчета эстакад КЛ-6кВ и здания ГРУ-6кВ)</p>	<p>-</p>	<p>1.4</p>	<p>-</p>
<p>Всего (гориз/вертик)</p>	<p>3.69</p> <p>6,75</p>		<p>4,94</p> <p>12,51</p>

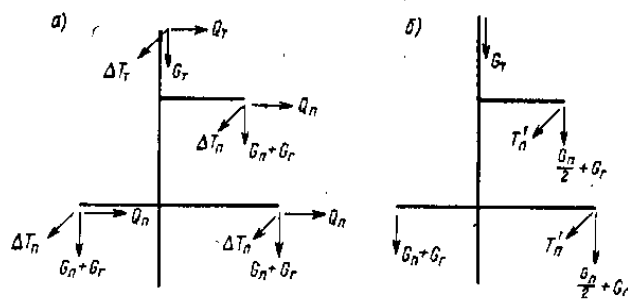


Рис. 3. Схемы нагрузок на анкерную концевую опору:

а - при нормальном режиме работы анкерной опоры; б - при аварийном режиме работы анкерной опоры.

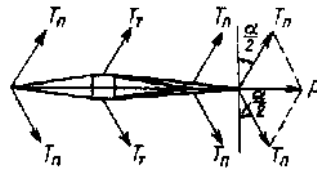


Рис. 4. Схемы нагрузок на анкерную угловую опору

Расчет провода марки АС-120 на критические пролеты.

$$l_{1к} = \frac{4,38 * \sigma}{\gamma_1} \left(\sqrt{\frac{aE(t_s - t_-) - 0,333 * \sigma_-}{E}} \right) = 348 \text{ м} \quad l_{2к} = 4,9 * \sigma \left(\sqrt{\frac{a(t_s - t_-)}{\gamma_r^2 - \gamma_1^2}} \right) = 220 \text{ м}$$

$$l_{3к} = \frac{4,9 * \sigma}{\gamma_1} \left(\sqrt{\frac{0,333 * \sigma_- + aE(t_r - t_s) -}{E \left(\frac{\gamma_r^2}{\gamma_1^2} - 2,25 \right)}} \right) = 176 \text{ м},$$

где механическое напряжение для наибольшей нагрузки $\sigma = \frac{13,5 \text{ даН}}{\text{мм}^2}$. Коэффициент температурного линейного расширения $a = 19,2 * 10^{-6} \frac{1}{\text{C}}$; $t_s = 0^\circ\text{C}$; $t_- = -50^\circ\text{C}$; $t_+ = +23^\circ\text{C}$; $t_r = -5^\circ\text{C}$.

Допускаемое напряжение при наибольшей нагрузке и низшей температуре $\sigma_- = 13,5 \text{ даН/мм}^2$. Приведенная нагрузка от собственного веса провода марки АС-120 $\gamma_1 = 3,46 * 10^{-3} \text{ даН/(м * мм}^2)$.

Приведенная нагрузка от собственного веса провода марки АС-120 $\gamma_1 = 3,46 * 10^{-3} \text{ даН/(м * мм}^2)$. Для расчетов опор V района гололёдности расчетной

схемой является схема с нормальным режимом работы линии, соответствующая наибольшей скорости ветра с гололедом.

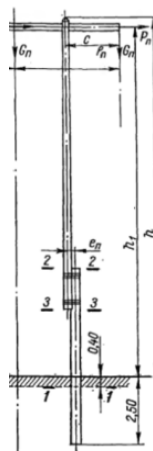


Рис. 5. Расчетный эскиз промежуточной опоры
 $h=10\text{м}$, $h_1=8.5\text{м}$, $h_2=2.8\text{м}$, $x_0=0,2$

Расчетная схема с аварийным режимом работы линии в случае обрыва провода не рассматривается, так как фактические пролеты провода значительно меньше критических, а также в случае обрыва провода снимается наибольшая ветровая и гололедная нагрузка.

Изгибающий момент в пасынке в сечении 1-1 при гололеде: $M_{1-1}=4814\text{кгс}\cdot\text{м}$. Изгибающий момент в стойке в сечении 2-2 при гололеде: $M_{2-2}=3130\text{кгс}\cdot\text{м}$. Расчетные сопротивления древесины сосны, ели и лиственницы европейской отсортированной по сортам следует определять по формуле:

$$R^P = R^A \cdot m_{\text{дп}} \cdot \Pi_{m_2}$$

где R^A - расчетное сопротивление древесины, МПа,

$m_{\text{дп}}$ - коэффициент длительной прочности, соответствующий режиму длительности загрузки;

Π_{m_2} - произведение коэффициентов условий работы.

$$R^P = 24 * 0.85 * 0.9 = 18,36\text{МПа}$$

Определяем диаметры элементов опоры.

Диаметр пасынка:

$$W_{\text{п}} = \frac{M_{1-1}}{R} = \frac{4814}{18.36} = 2622 \text{ см}^3; \quad d = \sqrt[3]{\frac{2622}{0.1 * 0.85}} = 31.36 \text{ см}$$

Фактический диаметр пасынка по результатам обмеров составил 28 см.

Диаметр стойки:

$$W_{\text{с}} = \frac{M_{2-2}}{R} = \frac{3130}{18.36} = 1704 \text{ см}^3; \quad d = \sqrt[3]{\frac{1704}{0.1 * 0.85}} = 27.2 \text{ см}$$

Фактический диаметр стойки по результатам обмеров составил 26 см.

Таким образом, фактические сечения пасынка и стойки опоры меньше расчетных значений, несущая способность опоры не обеспечена. На этом основании расчет траверсы не производился. В целях контроля результатов механического расчета дополнительно необходимо выполнить автоматизированный расчет.

Заключение

Для деревянных опор ВЛ-6 кВ по совокупности обнаруженных дефектов, результатов испытаний материалов и поверочных расчетов возможность увеличения нагрузок в связи с увеличением диаметра проводов марки АС 120 не допускается.

Основные причины следующие:

- значительные усушечные трещины деревянных опор глубиной более 1/3 диаметра стоек опор в результате нарушения технологии сушки древесины в процессе изготовления конструкции опоры, смятие древесины и болтов в местах болтового соединения стоек и пасынков, а также глубокие врубки в траверсах более чем на 1 см из-за нарушения технологии монтажа опор на строительной площадке.

- увеличение современных существующих требований к величинам нормативных нагрузок от гололеда и порывов ветра на опоры в сравнении с нормами серии 3.407-80м.

Литература

1. Вихарев А. П. Механический расчет воздушных линий электропередачи: учебное пособие. Киров: ВятГУ, 2020. 256 с.
2. Никонова Е.В. Основные способы соединения узлов деревянных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2021. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6768.
3. Клюкин А.А. Усовершенствование узла сплачивания конструкций из цельной древесины составного сечения // Инженерный вестник Дона. 2023. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8365
4. Yuan Jiaxin. Identification method of typical defects in transmission lines based on YOLOv5 object detection algorithm // Energy Reports. Volume 9, 2023. pp. 323-332.
5. Lou Wen-juan. Jump height of an iced transmission conductor considering joint action of ice-shedding and wind // Cold Regions Science and Technology. Volume 199, 2022. pp. 148-160.
6. Гроздов В. Т. Дефекты строительных конструкций и их последствия. СПб., 2007. 137с.
7. Физдель И.А. Дефекты и методы их устранения в конструкциях и сооружениях. М.: Стройиздат, 1987. 176 с.
8. Гроздов В.Т. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений. СПб.: Издательский Дом KN+, 2001. 140 с.
9. Добромислов А. Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам. М.: Издательство АСВ, 2004. 72 с.
10. Крюков К.П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи. Л.: Энергия, 1979. 312 с.

References

1. Viharev A. P. Mekhanicheskij raschet vozduzhnyh linij elektroperedachi: uchebnoe posobie [Mechanical calculation of overhead power lines: tutorial]. Kirov: VyatGU, 2020. 256 p.
2. Nikonova E.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6768.
3. Klyukin A.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8365
4. Yuan Jiaxin. Energy Reports. Volume 9. 2023. pp. 323-332.
5. Lou Wen-juan. Cold Regions Science and Technology. Volume 199. 2022. pp. 148-160.
6. Grozdov V. T. Defekty stroitel'nyh konstrukcij i ih posledstviya [Defects of building structures and their consequences]. SPb., 2007. 137 p.
7. Fizdel' I.A. Defekty i metody ih ustraneniya v konstrukciyah i sooruzheniyah [Defects and methods of their elimination in structures and buildings]. M.: Strojizdat, 1987. 176 p.
8. Grozdov V.T. Tekhnicheskoe obsledovanie stroitel'nyh konstrukcij zdanij i sooruzhenij [Technical inspection of building structures and structures]. SPb.: Izdatel'skij Dom KN+, 2001. 140 p.
9. Dobromyslov A. N. Ocenka nadezhnosti zdanij i sooruzhenij po vneshnim priznakam [Assessment of the reliability of buildings and structures by external features]. M.: Izdatel'stvo ASV, 2004. 72 p.
10. Kryukov K.P. Konstrukcii i mekhanicheskij raschet linij elektroperedachi [Design and mechanical calculation of power transmission lines]. L.: Energiya, 1979. 312 p.

Дата поступления: 4.03.2025

Дата публикации: 25.04.2025