

## Оптимизации места размещения волоконно-оптических линии связи на высоковольтных линиях электропередачи

*В.А. Осипов*

*Ростовский государственный университет путей сообщения*

**Аннотация:** В статье предлагается методика определения оптимального места размещения самонесущего волоконно-оптического кабеля, прокладываемого по опорам высоковольтных линий электропередачи. Методика ориентирована на использование как ручного метода расчета, так и расчета с применением средств электронно-вычислительной техники.

**Ключевые слова:** волоконно-оптическая линия связи, электрическое поле, наводимый потенциал, электротермическая деградация, оптимизация размещения самонесущего волоконно-оптического кабеля.

Промышленное использование волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) предопределяется необходимостью организации надежных и быстрых каналов связи для передачи информации между различными типами объектов. Прокладка волоконно-оптического кабеля на сегодняшний день может проводиться несколькими способами, в том числе, под землей, на существующих опорах, путем навивки на фазные проводники линий электропередачи и др. [1,2]. Оптоволоконный кабель, используемый для ВОЛС, также бывает нескольких типов, и, в частности, самонесущий оптоволоконный кабель типа ОКСН. В объеме данной статьи анализируются условия эксплуатации кабелей типа ОКСН, подвешиваемых на опорах линий электропередачи.

Основной особенностью кабелей типа ОКСН является полное отсутствие в их структуре проводящих материалов [3]. Этот факт на начальных этапах эксплуатации волоконно-оптических линий связи позволил сделать смелое утверждение о невосприимчивости ОКСН к влиянию внешнего электрического поля и возможности подвески ОКСН на опорах линий электропередачи различного напряжения. Опыт эксплуатации [4] показал, что несмотря на полностью диэлектрическую структуру в

---

материалах кабеля под действием электрического поля переменного тока начинают протекать процессы, приводящие к разрушению внешней оболочки кабеля и его дальнейшему разрыву [5,6]. Проводимые рядом научных школ исследования показали, что поляризационные процессы, протекающие в многослойном диэлектрике, какими и является ОКГТ могут негативно сказываться на его сроке службы и могут приводить к полному разрушению кабеля [7-9].

Рассмотрим случай горизонтального размещения фазных проводников на опоре ВЛ, рисунок 1. Такое расположение характерно для опор типа ПБ-500-1, ПБ-500-2, ПБ-500-3, ПВС-500, ПБ-330, ПБ-220, ПБД-220, ПВ-220-5, ПУБ-2, ПУБ-5, ПУБ-20, Р1, Р2 и других.

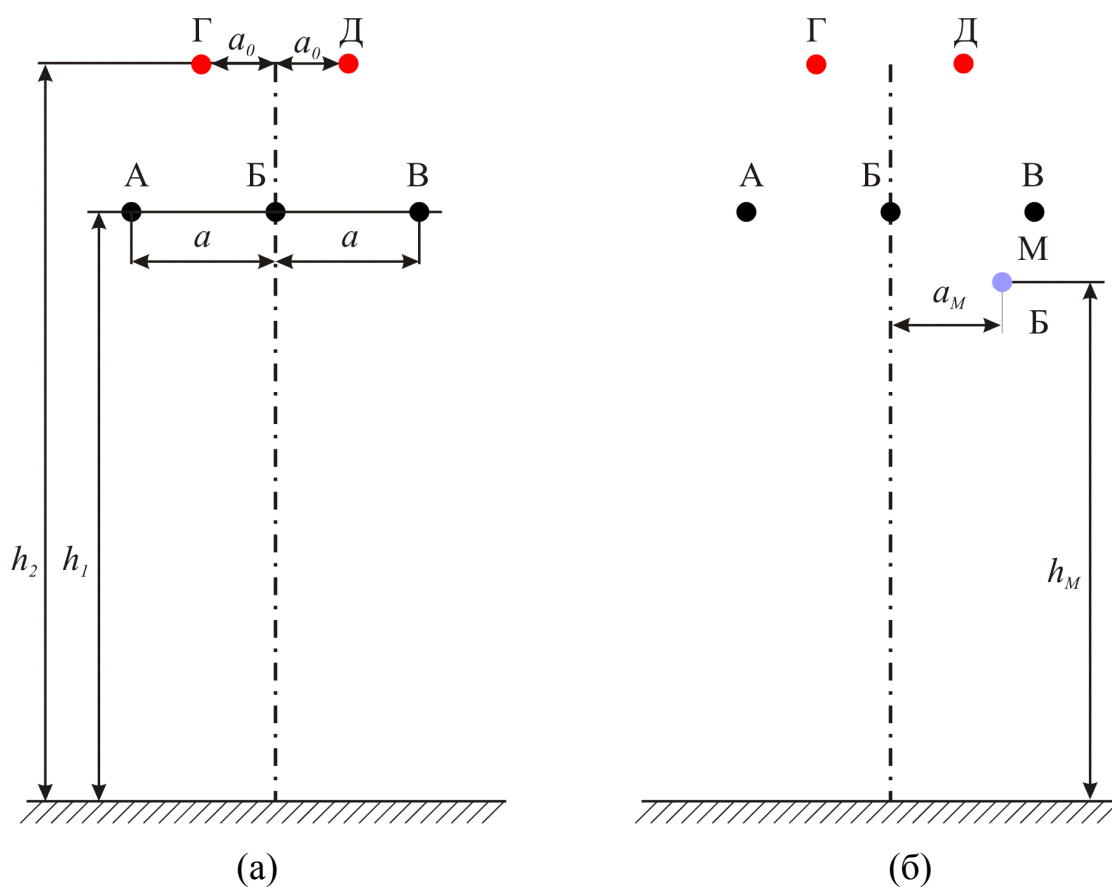


Рисунок 1 – Расположение фазных и заземленных проводников:  
а – обозначения на опоре ЛЭП; б – параметры расчётной модели.

Данный случай расположения фазных проводов является наихудшим, с точки зрения поиска оптимального места размещения ОКСН. Наиболее выгодным размещением ОКСН на опорах ЛЭП с горизонтальным расположением проводов является подвеска ВОК на оси, совпадающей с вертикальной осью среднего фазного провода. Практически реализовать такой способ подвеса ОКСН можно на ограниченном типе опор: например, Р-1 или Р-2, либо на опорах, имеющих среднюю стойку (УБ-330), либо при прокладке линии на трех одиночных опорах. Если из-за конструктивных особенностей опоры реализовать такой способ подвески ОКСН невозможно, то следует рассмотреть два варианта подвески ОКСН:

1) подвеска ОКСН посередине между парой фазных проводов, откорректировав местоположение подвески ВОК по критерию минимума наводимого потенциала.

2) подвеска ОКСН на теле стойки, при этом наводимый потенциал будет тем меньше, чем меньше будет высота подвески кабеля. Следует отметить, что высота подвеса не может быть менее 5 м.

Для выбора оптимального места расположения кабеля следует выполнить расчет потенциалов в первом и втором варианте и выбрать тот вариант, у которого расчетное значение наводимого потенциала будет меньше [10]. Расчет выполняется по приводимой ниже методике:

Необходимо использовать первую группу формул Максвелла (8):

$$\begin{aligned}\dot{\varphi}_A &= \dot{i}_A \alpha_{AA} + \dot{i}_B \alpha_{AB} + \dot{i}_C \alpha_{AC} + \dot{i}_D \alpha_{AD}; \\ \dot{\varphi}_B &= \dot{i}_A \alpha_{BA} + \dot{i}_B \alpha_{BB} + \dot{i}_C \alpha_{BC} + \dot{i}_D \alpha_{BD}; \\ \dot{\varphi}_C &= \dot{i}_A \alpha_{CA} + \dot{i}_B \alpha_{CB} + \dot{i}_C \alpha_{CC} + \dot{i}_D \alpha_{CD}; \\ 0 &= \dot{i}_A \alpha_{DA} + \dot{i}_B \alpha_{DB} + \dot{i}_C \alpha_{DC} + \dot{i}_D \alpha_{DD}.\end{aligned}\tag{8}$$

Для решения поставленной задачи необходимо рассчитать линейную плотность зарядов всех проводников. Так как решением уравнений (8)

является известный потенциал линии, очевидно необходимо рассчитать потенциальные коэффициенты, величина которых зависит от геометрии подвеса проводников.

Собственные коэффициенты:

$$\alpha_{AA} = \alpha_{BB} = \alpha_{BB} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \ln \left( \frac{2 \cdot h_1}{r_A} \right);$$
$$\alpha_{\Gamma\Gamma} = \alpha_{\text{ДД}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \ln \left( \frac{2 \cdot h_2}{r_\Gamma} \right).$$
(9)

Взаимные коэффициенты:

$$\alpha_{AB} = \alpha_{BA} = \alpha_{BB} = \alpha_{BB} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \ln \left( \frac{\sqrt{a^2 + 4 \cdot h_1^2}}{a} \right);$$
$$\alpha_{AG} = \alpha_{GA} = \alpha_{BD} = \alpha_{DB} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \ln \left( \frac{\sqrt{(a - a_0)^2 + (h_2 + h_1)^2}}{\sqrt{(a - a_0)^2 + (h_2 - h_1)^2}} \right);$$
$$\alpha_{BG} = \alpha_{GB} = \alpha_{BD} = \alpha_{BB} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \ln \left( \frac{\sqrt{a_0^2 + (h_2 + h_1)^2}}{\sqrt{a_0^2 + (h_2 - h_1)^2}} \right);$$
$$\alpha_{AD} = \alpha_{DA} = \alpha_{BG} = \alpha_{GB} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \ln \left( \frac{\sqrt{(a + a_0)^2 + (h_2 + h_1)^2}}{\sqrt{(a + a_0)^2 + (h_2 - h_1)^2}} \right);$$
$$\alpha_{AB} = \alpha_{BA} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \ln \left( \frac{\sqrt{a^2 + h_1^2}}{a} \right);$$
$$\alpha_{\Gamma D} = \alpha_{D\Gamma} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \ln \left( \frac{\sqrt{a_0^2 + h_2^2}}{a_0} \right).$$
(10)

На данном этапе можно решить систему относительно неизвестных  $\dot{t}_A, \dot{t}_B, \dot{t}_B, \dot{t}_\Gamma, \dot{t}_D$ . Данная операция требует расчета определителей пятого порядка, содержащих комплексные числа. Ввиду значительной трудоемкости

данной операции целесообразно для расчета мгновенного значения комплекса линейной плотности заряда проводников использовать ЭВМ.

Потенциал точки «М» определяется по уравнению:

$$\phi_M = \dot{\tau}_A \alpha_{AM} + \dot{\tau}_B \alpha_{BM} + \dot{\tau}_B \alpha_{BM} + \dot{\tau}_Г \alpha_{ГМ} + \dot{\tau}_Д \alpha_{ДМ}$$

Для определения потенциальных коэффициентов используем выражения:

$$\begin{aligned} \alpha_{AM} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \ln \left( \frac{\sqrt{(a_M + a)^2 + (h_1 + h_M)^2}}{\sqrt{(a_M + a)^2 + (h_1 - h_M)^2}} \right); \\ \alpha_{BM} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \ln \left( \frac{\sqrt{(a_M)^2 + (h_1 + h_M)^2}}{\sqrt{(a_M)^2 + (h_1 - h_M)^2}} \right); \\ \alpha_{BM} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \ln \left( \frac{\sqrt{(a_M - a)^2 + (h_1 + h_M)^2}}{\sqrt{(a_M - a)^2 + (h_1 - h_M)^2}} \right); \\ \alpha_{ГМ} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \ln \left( \frac{\sqrt{(a_M + a_0)^2 + (h_0 + h_M)^2}}{\sqrt{(a_M + a_0)^2 + (h_0 - h_M)^2}} \right); \\ \alpha_{ДМ} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \ln \left( \frac{\sqrt{(a_M - a_0)^2 + (h_0 + h_M)^2}}{\sqrt{(a_M - a_0)^2 + (h_0 - h_M)^2}} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

Составляя уравнения, необходимо включать горизонтальные координаты точки М, если она располагается левее оси опоры со знаком минус, и если правее – со знаком плюс.

Максимальное значение потенциала в точке «М»:

$$\varphi_M = \left| \dot{\tau}_A \alpha_{AM} + \dot{\tau}_B \alpha_{BM} + \dot{\tau}_B \alpha_{BM} + \dot{\tau}_Г \alpha_{ГМ} + \dot{\tau}_Д \alpha_{ДМ} \right|.$$

Далее строятся зависимости потенциала точки М от горизонтальных и вертикальных координат расчётной точки с последующим выбором оптимального места подвеса, пример зависимостей показан на рисунке 2.

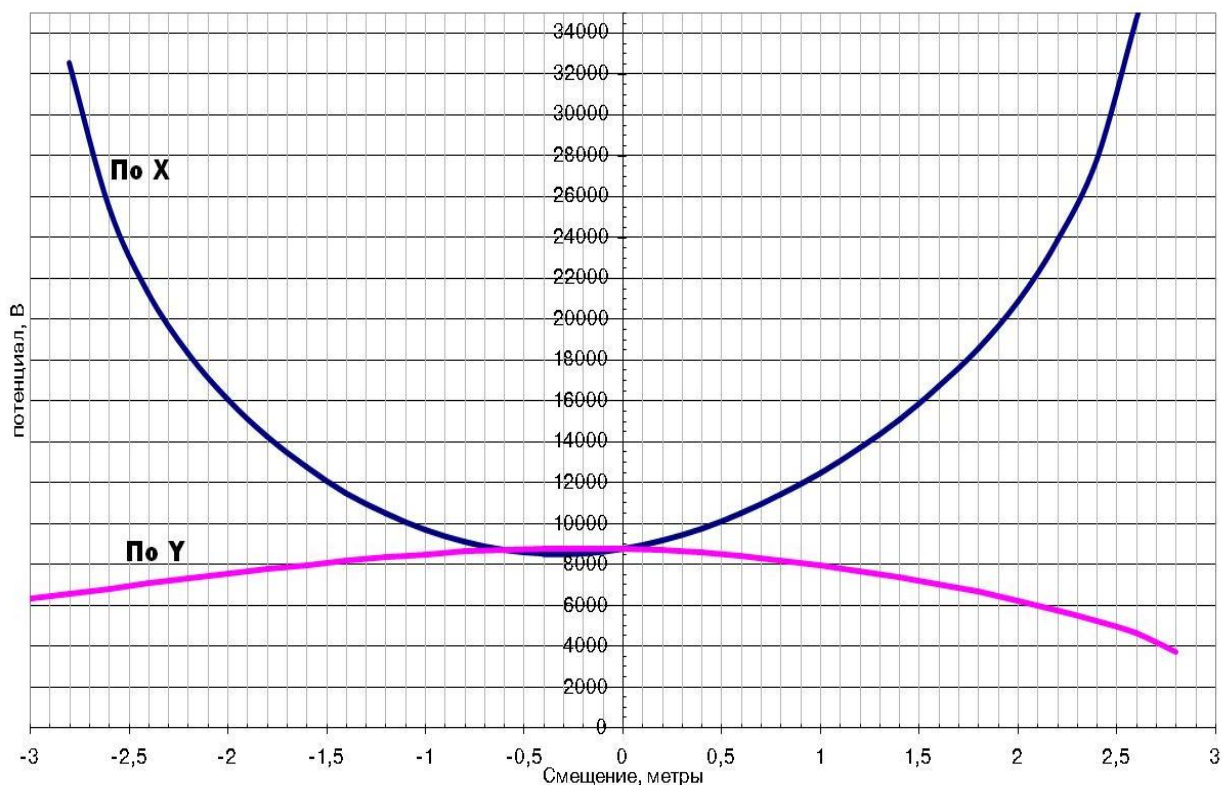


Рисунок 2. – Изменение потенциала

Следует заметить, если осуществляется выбор местоположения ОКСН для ЛЭП, где отсутствует один грозозащитный трос, либо тросов нет вообще (используются ОПН), то в уравнениях необходимо опустить слагаемые (Д) либо (Г) и (Д). Дальнейшее определение оптимального места размещения кабеля необходимо проводить, проанализировав полученные (рисунок 2) зависимости. Поиск точки минимума по горизонтали и вертикали дадут координату расчетной точки.

### Литература

1. Петров С.Н. Современное оптическое производство и некоторые тенденции его развития // Инженерный вестник Дона, 2009, №3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2009/141/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2009/141/).
2. Воронцов А.С. Технологии строительства ВОЛС. // Фотон-экспресс 2005, № 2, С.29-31.

3. Carter, Waldron. Mathematical model of dry-band arcing on self-supporting, all-dielectric, optical cable strung on overhead power lines // IEEE Proceedings s-c, vol.139, No. 3, 1992, pp. 185-196.

4. Гороховский Е.В. Условия электропроводимости самонесущего волоконно-оптического кабеля. Экспериментальные данные // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1968](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1968)

5. Филиппов Ю.И., Асс Э.Е., Попов Л.Е., Бочев А.С., Соловьев Г.Е., Осипов В.А., Гайворонский А.С., Кречетов В.В., Прокопович М.Р. Электротермическая деградация оптического кабеля на участках железных дорог переменного тока. // Lightwave Russian Edition, 2006, № 3, С. 20-24.

6. Филиппов Ю.И., Асс Э.Е., Попов Л.Е., Бочев А.С., Соловьев Г.Е., Осипов В.А., Гайворонский А.С., Кречетов В.В., Прокопович М.Р. Электротермическая деградация оптического кабеля. // Lightwave Russian Edition, 2006, № 4, С. 31-39.

7. Чернов И.Н., Муратов В.И., Куценко С.М., Зеленев С.А. Оплавление диэлектрического оптического кабеля, подвешенного на железнодорожных опорах под действием электротермической деградации. // Lightwave Russian Edition, 2007, №2, С. 34-35.

8. Keller D.A., Benze D.J., Bonicel J.P., Bastide C., Davidson E. Continued Investigation of ADSS Design and Reliability Consideration with Respect to Field Voltage Tracking, and Cable Installation Practices // 46-th International Wire & Cable Symposium Proceedings. - Eatontown, New Jersey, 1997. P. 24-31.

9. Осипов В.А., Соловьев Г.Е., Гороховский Е.В., Капкаев А.А. Проблемы электротермической деградации волоконно-оптических линий связи и перспективные направления их решения // Инженерный вестник Дона, 2013, №1 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1539](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1539).

10. Стороженко Е. А., Кляморов А. С., Стороженко Д. Е., Гукасов К. С. Снижение влияния электрического поля высоковольтных линий

---



электропередачи на волоконно-оптические линии связи // Инженерный вестник Дона, 2013, №2 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1645](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1645).

### References

1. C.N. Petrov. Inzhenernyj vestnik Dona, 2009, №3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2009/141/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2009/141/).
2. Voroncov A.S. Foton-jekspress 2005, № 2, pp.29-31.
3. Carter, Waldron. IEEE Proceedings s-c, vol.139, No. 3, 1992, pp.185-196.
4. Gorohovskij E.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1968](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1968)
5. Filippov Ju.I., Ass Je.E., Popov L.E., Bochev A.S., Solov'ev G.E., Osipov V.A., Gajvoronskij A.S., Krechetov V.V., Prokopovich M.R. Lightwave Russian Edition, 2006, № 3, pp. 20-24.
6. Filippov Ju.I., Ass Je. E., Popov L.E., Bochev A.S., Solov'ev G.E., Osipov V.A., Gajvoronskij A.S., Krechetov V.V., Prokopovich M.R. Lightwave Russian Edition, 2006, № 4, pp. 31-39.
7. Chernov I.N., Muratov V.I., Kucenko S.M., Zelenev S.A. Lightwave Russian Edition, 2007, №2, pp. 34-35.
8. Keller D.A., Benze D.J., Bonicel J.P., Bastide C, Davidson E. 46-th International Wire & Cable Symposium Proceedings. Eatontown, New Jersey, 1997. pp. 24-31.
9. Osipov V.A., Solov'ev G.E., Gorohovskij E.V., Kapkaev A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1539](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1539).
10. Storozhenko E. A., Kljamorov A. S., Storozhenko D. E., Gukasov K. S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1645](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1645).