

Самонесущий оптический кабель на ВЛ 35–330 кВ

Михаил ДМИТРИЕВ,
заместитель генерального директора
по научной работе, ПКБ «РосЭнергоМонтаж», г. Санкт-Петербург, к.т.н.

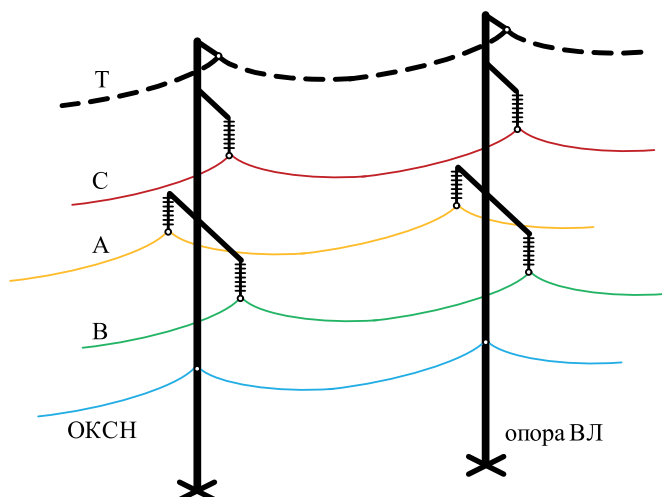
Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) зачастую размещают на опорах воздушных линий (ВЛ) электропередачи среднего и высокого напряжения. В связи с этим ОАО «ФСК ЕЭС» организовало работы по созданию стандарта «Правила проектирования, строительства и эксплуатации ВОЛС на ВЛ электропередачи напряжением 35 кВ и выше».

Согласно проекту этого стандарта на воздушных линиях 35 кВ и выше могут применяться различные оптические кабели:

- встроенные в грозотрос (ОКГТ);
- встроенные в фазный провод (ОКФП);
- навитые на фазный провод или на грозозащитный трос (ОКНН);
- самонесущие (ОКСН).

В случаях использования самонесущих оптических кабелей проект стандарта требует их размещения в точках минимального наведённого фазными проводами ВЛ потенциала. Рассмотрим причины такого требования.

Рис. 1. Одноцепная ВЛ 35–330 кВ с установленным ОКСН



ПОТЕНЦИАЛ, НАВЕДЁННЫЙ НА ОКСН

В проекте стандарта дано следующее определение: ОКСН — это оптический кабель самонесущий неметаллический, армирующими элементами которого являются стеклопластиковые прутки или арамидные нити, объединённые в единую конструкцию.

На рис. 1 схематично показана одноцепная опора ВЛ 35–330 кВ с треугольным расположением фазных проводов «А», «В», «С», молниезащитным тросом «Т» и ОКСН, закреплённым на опорах ВЛ под нижней траверсой.

Рабочее напряжение фазных проводов ВЛ создаёт вокруг линии электрическое поле, потенциал которого $U_k = 0$ воздействует на ОКСН. Величина этого потенциала зависит от расстояния до фазных проводов, троса, поверхности земли, а также от расстояния до заземлённого тела опоры.

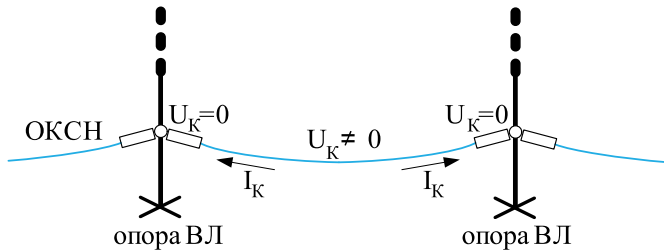
Поскольку в точке крепления ОКСН к опоре потенциал отсутствует $U_k = 0$, а в остальных точках пролёта справедливо $U_k \neq 0$, то вдоль ОКСН возникает разность электрических потенциалов. Если поверхность ОКСН в достаточной мере загрязнена и увлажнена, то разность потенциалов вызовет протекание вдоль неё тока промышленной частоты, направленного из пролёта в сторону опоры (рис. 2) и способного повредить кабель.

Например, в Санкт-Петербурге уже известны случаи повреждения оболочки ОКСН вблизи от тела опоры ВЛ 330 кВ, где протекающий вдоль её поверхности ток оказывается максимальным. Поэтому задача расчёта потенциала и его минимизации действительно является актуальной.

Потенциал U_k зависит от следующих основных факторов:

- высоты подвеса ОКСН на опоре;
- высоты подвеса фазных проводов и тросов на опоре;
- степени провисания ОКСН, проводов и тросов в средней части пролёта.

Рис. 2. Узел крепления ОКСН к опоре и протекающий по поверхности ОКСН ток



Полученный в результате расчётов потенциал U_K следует сравнивать с допустимым значением, в качестве которого согласно имеющимся данным на ОКСН можно использовать:

- 12 кВ, если оболочка выполнена из обычного полиэтилена высокой плотности;
- 25 кВ, если оболочка выполнена из трекинговой полиэтилена (он дороже).

Если наибольший потенциал на поверхности ОКСН окажется выше 12 (25) кВ, то следует оптимизировать точку подвеса ОКСН на опоре ВЛ, сместив положение ОКСН в область меньших наводимых потенциалов.

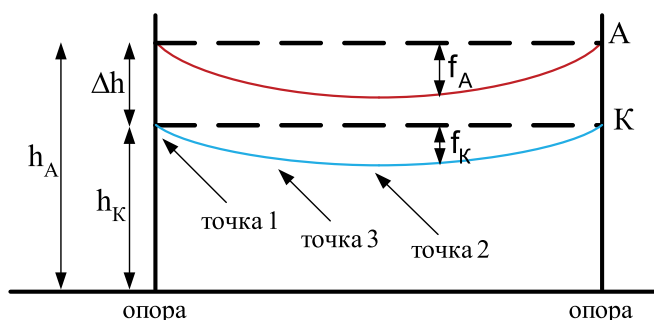
ВЫБОР ТОЧКИ ДЛЯ РАСЧЁТА ПОТЕНЦИАЛА

Результаты расчётов потенциала U_K зависят от того, на какой высоте относительно земли размещены фазные провода, молниезащитный трос и оптический кабель. Поскольку вблизи от тела опоры расстояние до земли больше, чем в средней части пролёта ВЛ, то возникает вопрос: в какой точке между опорами ВЛ проводить определение потенциала ОКСН:

- вблизи от опоры (точка 1 на рис. 3);
- посередине пролёта (точка 2);
- на некотором удалении от опоры (точка 3, расположенная между 1 и 2).

Поскольку опора заземлена, то на самом деле в точке 1 у оптического кабеля нет потенциала. Одна-

Рис. 3. Определение наибольшего потенциала оптического кабеля на примере однофазной ВЛ



ко не будем учитывать экранирующего действия заземлённой опоры, так как по мере удаления от опоры оно достаточно быстро нивелируется.

Проведя исследования влияния на потенциал ОКСН высоты его подвеса h_K , расстояния до фазного провода Δh , стрел провеса ОКСН f_K и провода f_A , можно сделать следующие выводы:

- если оптический кабель провисает так же сильно, как и фазный провод $f_K = f_A$, то наибольшее значение U_K достигается у тела опоры (точка 1 на рис. 3);
- если оптический кабель вообще не провисает ($f_K = 0$), то наибольшее значение U_K достигается в середине пролёта, где $f_A = \max$ (точка 2).

По имеющимся у автора сведениям на практике стрелы провеса оптического кабеля f_K меньше, чем у фазного провода, т.е. лежат в диапазоне $f_A > f_K > 0$, и, следовательно, наибольший потенциал будет находиться не у тела опоры (точка 1) и не в середине пролёта (точка 2), а где-то между этими точками (точка 3).

Стрелы провеса f фазных проводов и оптического кабеля зависят от многих факторов и не всегда известны. Поэтому при выборе точки крепления ОКСН на опоре в качестве базового расчётного случая целесообразно принять точку 1 и закладывать в расчёты потенциала ОКСН расстояния до земли, характерные для тела опоры без учёта стрел провеса.

Если полученный в точке 1 потенциал приближается к опасным значениям в 12 (или 25) кВ, то после получения данных о провисании фазных проводов и кабеля целесообразно проведение дополнительных проверочных расчётов потенциала в двух других точках:

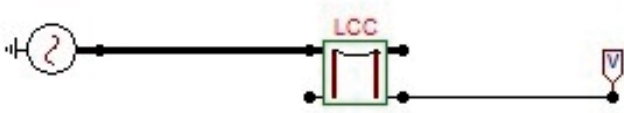
- в точке 2 (удаление от опоры на 50% длины пролёта);
- в точке 3 (удаление от опоры на 25% длины пролёта).

СПОСОБЫ РАСЧЁТА ПОТЕНЦИАЛА

Расчёт потенциала ОКСН можно выполнить, например, аналитически [1] при помощи системы уравнений, записанной с применением собственных и взаимных потенциальных коэффициентов, которые связывают потенциалы ОКСН, проводов и тросов с их зарядами. Также потенциал ОКСН можно найти и с применением компьютерных программ, таких, как EMTP (Electro Magnetic Transient Program), или аналогичных ей.

В EMTP и ряде других программ предусмотрена возможность моделировать систему параллельных друг другу проводников, в роли которых выступают как обычные фазные провода и тросы линий электропередачи, так и, скажем, какой-то дополнительный проводник — проходящая параллельно линия электропередачи иного класса напряжения, или же ОКСН. Подавая напряжение на одни из таких про-

Рис. 4. Внешний вид ЕМТР-модели одноцепной трёхфазной воздушной линии, где на опорах подвешен проводник, на котором измеряется потенциал



водов, ЕМТР позволяет определять напряжение, наведённое на другие.

На рис. 3 показана ЕМТР-схема, где есть подключённая к трёхфазной сети одноцепная ВЛ, на опорах которой подвешен дополнительный проводник (ОКСН), потенциал которого измеряет специальный вольтметр «V». При этом геометрия взаимного расположения проводов и тросов ВЛ и ОКСН может быть произвольной и задаётся внутри блока, названного «LCC».

ПРИМЕР РАСЧЁТА ДЛЯ ОДНОЦЕПНОЙ ВЛ 330 КВ

В качестве примеров проведём серию расчётов потенциала ОКСН в точке 1 для промежуточных

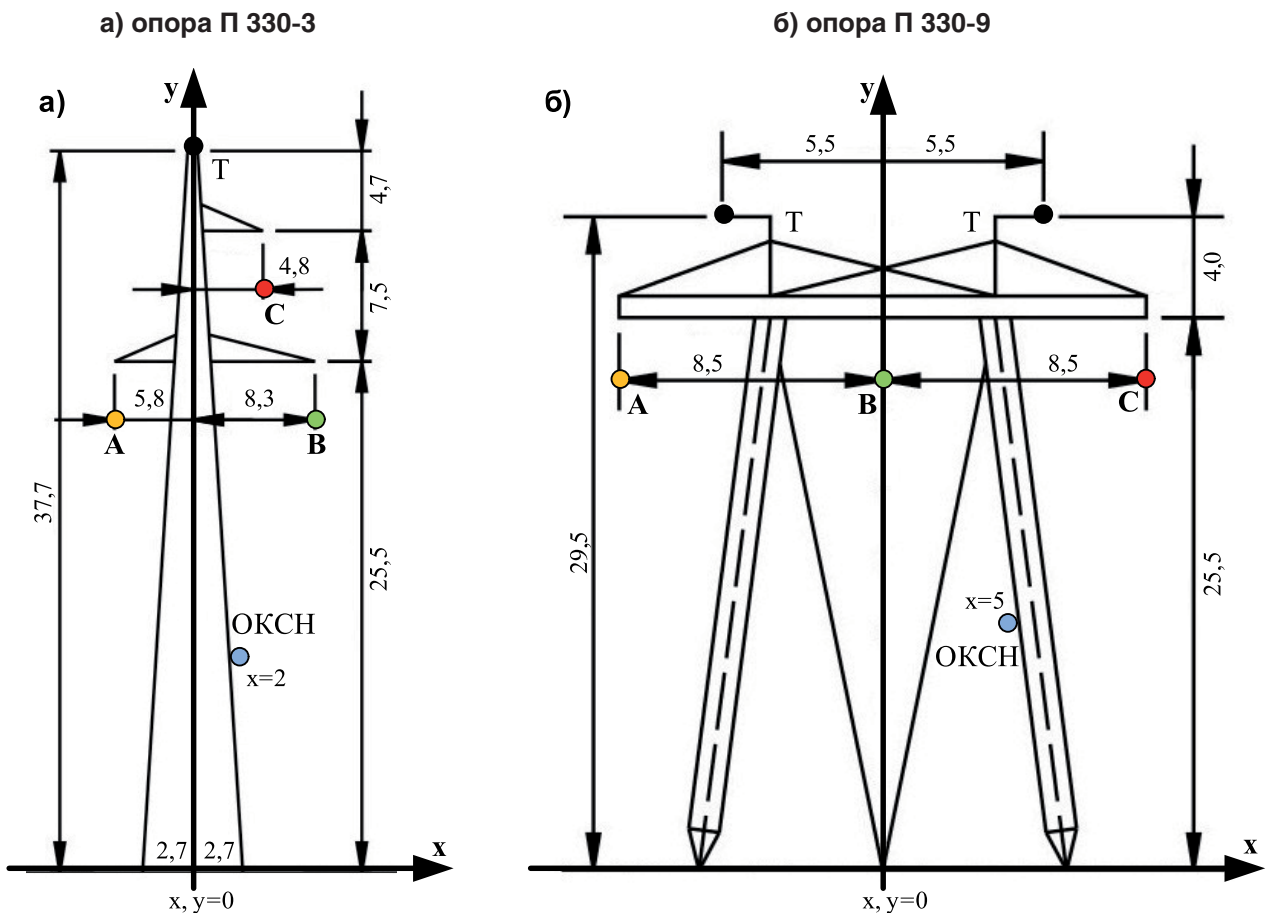
опор ВЛ 330 кВ [2], представленных на рис. 5. Длина гирлянд изоляторов 330 кВ принималась равной 3 м, гирлянды считались подвесными, напряжение на ВЛ принято равным наибольшему рабочему 363 кВ.

Результаты расчёта действующего значения потенциала поля в зависимости от места крепления ОКСН на опорах рис. 5 приведены на рис. 6.

П 330-3. ОКСН удобнее крепить к телу опоры под нижней траверсой, т.е. для опоры П 330-3 практическую значимость представляют прежде всего высоты $y < 25$ м. Поскольку металлическая опора П 330-3 имеет заметное поперечное сечение, то ОКСН не может быть закреплён в точке $x = 0$, и поэтому на рис. 6а даны две кривые: $x = +2$ и $x = -2$ м. При $x = +2$ м оптический кабель крепится к телу опоры с той её стороны, где над ним имеются сразу две траверсы фазных проводов, а при $x = -2$ м — только одна траверса.

Согласно рис. 6а при $y < 25$ м оптический кабель выгоднее размещать в точке $x = +2$ м, поскольку при этом достигаются меньшие потенциалы ОКСН. Однако в любом случае не избежать применения дорогостоящего ОКСН, оболочка которого выполнена из трекинговой полиэтилена, рассчитанного на потенциал 25 кВ.

Рис. 5. Эскизы одноцепных промежуточных опор ВЛ 330 кВ



П 330-9. Как следует из рис. 6б, для опоры с горизонтальным расположением фазных проводов также требуется ОКСН, рассчитанный на высокий потенциал 25 кВ, а при $y > 15$ м ОКСН и вовсе применять нельзя.

Изучив зависимости $U_k(x, y)$ рис. 6, полученные для опор рис. 5, можно сделать ряд очевидных обобщающих выводов:

- максимальные значения U_k достигаются при приближении ОКСН к тому или иному фазному проводу;
- минимальные значения U_k достигаются или рядом с поверхностью земли, или рядом с молниезащитным тросом, или в тех точках, где ОКСН оказывается примерно на равном удалении от трёхфазных проводов (в таких точках поля фаз практически полностью компенсируют друг друга).

ПРИМЕР РАСЧЁТА ДЛЯ ДВУХЦЕПНОЙ ВЛ 330 кВ

Результаты расчёта действующего значения потенциала поля в зависимости от точки крепления ОКСН на опорах рис. 7 приведены на рис. 8. При этом напряжение на ВЛ, как и раньше, принято равным наибольшему рабочему 363 кВ.

На рис. 8, полученном при $x = +2$ м, даны две кривые для потенциала ОКСН. Кривая АВС-АВС отвечает случаю, когда обе цепи имеют одинаковую фазировку проводов, а кривая АВС-СВА — при встречной фазировке.

Видно, что для двухцепной ВЛ 330 кВ вне зависимости от фазировки цепей под средней траверсой имеется область минимального потенциала, в которую можно было бы смело устанавливать ОКСН. Однако монтажным организациям удобнее располагать ОКСН не под средней, а под нижней траверсой. В таком случае применение ОКСН на двухцепной ВЛ 330 кВ возможно лишь тогда, когда его оболочка рассчитана на 25 кВ и только при встречной фазировке цепей.

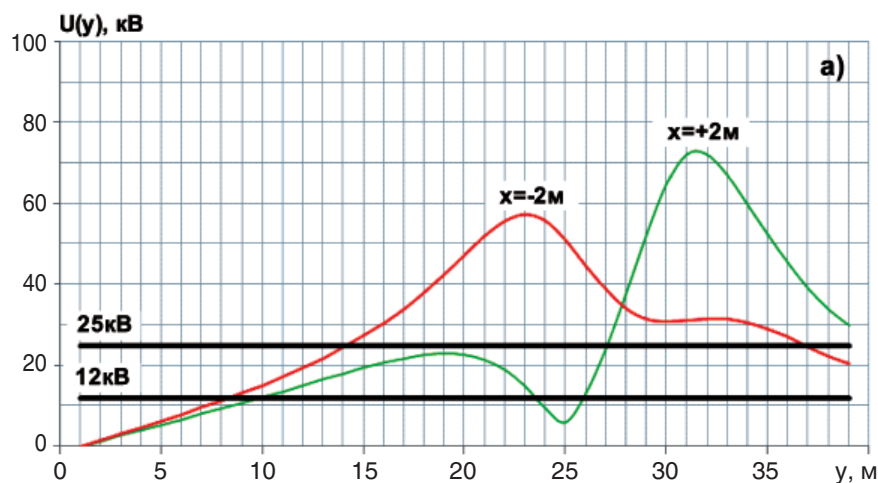
Анализ рис. 6 и 8 показывает, в частности, что применение ОКСН на ВЛ номинальным напряжением более 330 кВ не представляется возможным из-за недопустимо высокого наводимого потенциала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

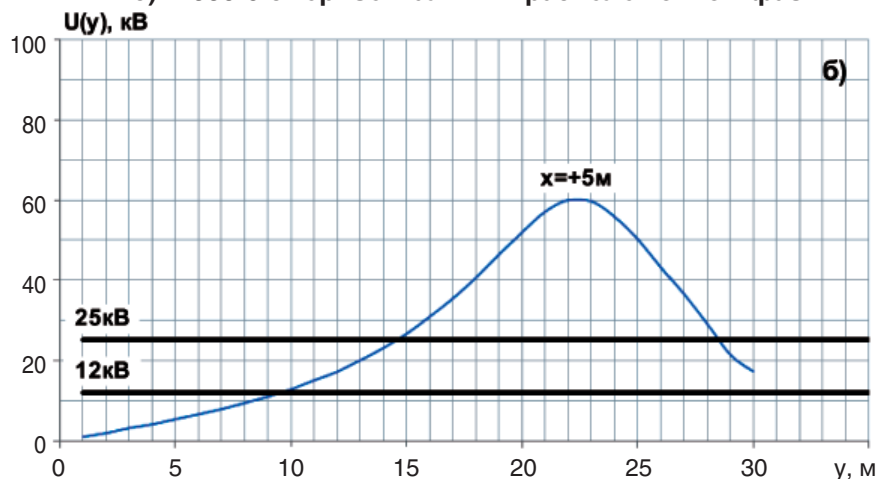
Проанализировав потенциал оптического кабеля, размещённого на опорах ВЛ 330 кВ, можно дать ряд обобщающих рекомендаций для ВЛ 35—330 кВ.

Рис. 6. Потенциал электрического поля на ОКСН в зависимости от места подвеса на одноцепной опоре ВЛ 330 кВ

а) П 330-3 с треугольным расположением фаз



б) П 330-9 с горизонтальным расположением фаз



1. Для одноцепных опор с треугольным расположением фаз оптический кабель ОКСН лучше размещать с той стороны опоры, где имеются две траверсы.

2. Для двухцепных опор с вертикальным расположением проводов за счёт совместного действия полей фазных проводов сразу двух цепей уровень потенциала под нижней траверсой оказывается повышенным и может потребовать установки ОКСН под среднюю траверсу, где электрические поля фаз лучше компенсируют друг друга, чем под нижней. Наиболее остро проблема стоит не для ВЛ 35—220 кВ, а именно для ВЛ 330 кВ, где дополнительным фактором повышения потенциала является наличие расщепления фазных проводов на две составляющие. На 330 кВ обеспечить возможность крепления ОКСН под нижней траверсой можно было бы за счёт смены фазировки одной из цепей (рис. 7б).

3. На ВЛ 35, 110 кВ при наличии обоснования возможно применять ОКСН с оболочкой, рассчитанной

