

О ЗАВИСИМОСТИ НАДЕЖНОСТИ СТАЛЬНЫХ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ОТ РАССОГЛАСОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ОТМЕТОК ИХ ОПОРНЫХ УЗЛОВ

Статья посвящена оценке надежности стальных опор линий электропередачи. В настоящее время временной ресурс существующих опор в большинстве своем исчерпан, однако замена их связана с большими материальными затратами. По наблюдениям авторов статьи, в подавляющем большинстве стальные опоры находятся в работоспособном состоянии, и срок их службы может быть продлен. В то же время авторами выявлено наличие относительных смещений подножников четырехногих опор, приводящее (в силу статической неопределимости схемы) к появлению дополнительных внутренних усилий. Выполненные с использованием программных комплексов Лира и SCAD расчеты показали, что в отдельных случаях при неблагоприятных погодных условиях возможна потеря устойчивости опор, несмотря на полное соответствие опор проектным требованиям. Предлагается внести коррективы в существующие нормативные документы.

Важная составляющая энергетической сети – ее передающее звено. Чаще всего это воздушные линии электропередачи, которые служат для передачи и распределения электрической энергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и закрепленным при помощи изоляторов и линейной арматуры на опорах. При сооружении большей части линий применяются типовые конструкции опор и фундаментов. Опоры воздушных линий электропередачи в зависимости от класса напряжения и степени ответственности линии применяют: менее 10 кВ – деревянные, до 220 кВ – железобетонные и от 35 кВ – стальные. В настоящее время в Оренбуржье продолжительность эксплуатации значительного количества эксплуатируемых стальных опор линий электропередачи либо приближается к предельному сроку, либо этот срок уже превышен. В то же время общая аварийность опор линий минимальна. При изучении архивных данных ОАО «Оренбургэнерго» за 2002–2004 гг. в подразделениях не было зафиксировано ни одной аварии стальных опор. Статистика аварий и эксплуатационные характеристики стальных конструкций опор ставят вопрос о продлении срока службы таких опор более, чем предусмотрено при проектировании. Наряду с этим можно выделить отдельные факты аварий стальных опор в энергосистеме, когда происходили аварии опор при расчетных или близких к расчетным режимах работы. Часто последствия аварий для разных стоек на протяженных аварийного участка неодинаковы. В од-

них случаях аварийное воздействие не оставляет видимых разрушений и работоспособность всего сооружения не нарушается. В других наблюдаются дефекты отдельных узлов и элементов. В третьих случаях те же воздействия приводят к потере работоспособности всего сооружения.

Это свидетельствует о том, что существуют разные причины аварий. Такими причинами могут быть:

- дефекты изготовления и неправильный монтаж конструкций;
- отсутствие контроля и неправильная эксплуатация сооружений;
- проектные ошибки;
- возникновение дополнительных факторов, имеющих неполное отражение в нормативах.

В данной работе будут рассматриваться частные случаи аварий на линиях электропередачи, когда анализируемые конструкции отвечают требованиям норм и правил на монтаж и изготовление, эксплуатация ведется с учетом всех требований, а проектные работы выполнены верно и с соблюдением нормативов. Таким образом, внимание сосредоточено на выявлении дополнительных факторов.

Для проведения анализа в качестве объекта изучения взят один из наиболее широко применяемых на практике типовых проект №3.407-68 «Промежуточные опоры 35 и 110 кВ». В проведенных нами расчетах использовалась конструктивная схема двухцепной опоры с геометрическими размерами элементов

и сечениями согласно проекту. Нагрузки на элементы приняты на основе проекта. Для оценки правильности используемой в работе расчетной схемы произведен статический расчет по одной из схем загрузки, являющейся расчетной для поясов ствола опоры. Расчет выполнен современными методами на программных комплексах SCAD 7.31 и Лира 9.2. Разница полученных результатов оказалась ничтожной. Разница значений усилий, указанных в проекте, и результатов нашего расчета находится в пределах 1%.

Говоря об особенностях данного типа опор, важно отметить, что рассматриваемые сооружения – это стальные четырехгранные опоры с отдельными фундаментами, расположенными в плане по вершинам прямоугольника. Конструкция опор геометрически неизменяема и изготовлена таким образом, что все четыре опорных узла лежат в одной плоскости. Известно, что для устойчивого закрепления конструкции на основании достаточно трех шарнирных узлов, не лежащих на одной прямой. Поэтому рассмотренная схема имеет внешнюю статическую неопределимость. В результате этого при смещении одной из четырех опорных точек из плоскости в системе возникнут усилия от этого смещения. К неодинаковым осадкам фундаментов одной опоры могут приводить различные грунтовые условия. Разность отметок подножников контролируется нивелировкой и при монтаже компенсируется установкой стальных пластин между верхом фундамента и плитой подножника, либо подливкой цементно-песчаного раствора под плиту подножника. По таблице 37 СНиП III-18-75 эта разность отметок должна быть в пределах 20 мм. Нормами не регламентируется зависимость этой величины от:

- типа опоры (анкерная, угловая или промежуточная);
- высоты опоры;
- размеров основания в плане;
- внешней статической неопределимости (не делается различия между «трех-» и «четырёхногими» опорами).

Также не регламентируется зависимость величины крена сооружения от:

- типа опоры;

- размеров основания в плане;
- внешней статической неопределимости.

В настоящее время СНиП III-18-75 «Металлические конструкции» заменен ГОСТ 23118-99 «Конструкции стальные строительные. Общие технические условия». В разделе «Указания по монтажу» ГОСТ содержит следующие пояснения: «Монтаж конструкций следует производить в соответствии с требованиями нормативных документов на монтаж и правилами, установленными проектом организации и производства монтажных работ». В то же время рассматриваемые конструкции были изготовлены в период действия СНиП III-18-75 и, поскольку проектная документация на сооружения не содержит специальных указаний по данному вопросу, его положения представляются действительными. Действующий РД 34.20.504-94 «Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35-800 кВ» полностью повторяют требования СНиП III-18-75 в этом вопросе.

На практике идеального положения опор не наблюдается. В ходе подготовки этой работы была проведена нивелировка случайной выборки 30 опор в г. Оренбурге и пригороде. Были обследованы стальные четырехгранные опоры, на отдельных фундаментах, различных типов (анкерные, анкерно-угловые, промежуточные) и с различными размерами базы опоры (от 1,8х2,4 м до 9х9 м). При этом разность отметок подножников в большинстве случаев более 20 мм и достигает 145 мм. При обследовании не обнаружено ни одной опоры, в которой все четыре опорных точки лежали бы в одной горизонтальной плоскости. Такая картина допускается нормативами, если крен сооружения менее $h/200$ (таблица 38 СНиП III-18-75 h – высота сооружения), а максимальная разность отметок подножников ($\max z_{abs}$) меньше 20 мм (табл. 37 СНиП III-18-75). В то же время, поскольку все четыре подножника имеют разные отметки по высоте z_{abs} , можно утверждать, что они, как правило, не лежат в одной плоскости. Иначе говоря, одна из четырех опорных точек смещена относительно плоскости, в которой находятся три других. В этом случае в силу статической неопределимости системы воз-

никают усилия в элементах, зависящие от расстояния от смещенной точки опоры до плоскости трех других.

На рис. 1 показано смещение положения опорных точек *B*, *C*, *D* относительно горизонтальной плоскости, проведенной через точку *D*. Абсолютные смещения точек относительно горизонтальной плоскости обозначены z_{abs} (для точки *D* $z_{abs} = 0$). Гексагональной штриховкой отмечена плоскость, проведенная через точки *B*, *C*, *D*. Расстояние от точки *A* до этой плоскости z_{rel} . Поскольку плоскость можно провести через любые три опорные точки, возможны четыре варианта смещения четвертой опорной точки. Однако для четырех точек величина z_{rel} не зависит от варианта.

Поскольку эта величина рассчитывается аналитически, исходными данными являются значения z_{abs} и размеры основания в плане. Поэтому для двух подножников (скажем, *A* и *B* на рис. 1) две из трех точек, определяющих плоскость, совпадают (*C* и *D*), а третья соответствует рассмотренной ранее вершине (*A* или *B*). Таким образом, делать вывод о том, какая из опор смещена и вызывает дополнительные усилия, можно лишь связав результаты нивелировки с направлением и величиной крена.

Таким образом, z_{rel} не зависит от максимальной разности вертикальных отметок, регламентируемой РД 34.20.504-94, и может быть как меньше, так и больше этой разности.

Таблица 1. Результаты нивелировки и расчетных значений опоры, расположенной рядом с пересечением улиц Березка и пр-т. Победы

№ точки	№ подножника	Отметка верха стальной пластины (отсчет по рейке)	База опоры	Наименьшая отметка подножника	Относительные превышения (z_{abs})	Диапазон отметок (max z_{abs})	Расстояние от точки до плоскости, проведенной через три остальные (z_{rel})
25	A	275	7,4	275	0	125	- 137
	B	150			125		137
	C	244			31		- 137
	D	232			43		137

Как следствие – встречаются случаи с максимальным относительным перепадом высот (max z_{abs} – нормируется СНиП), который меньше смещения одного из подножников из плоскости, образованной тремя другими (табл. 1).

Для оценки влияния z_{rel} на напряженно-деформированное состояние опор выполнены статические расчеты. За основу взята расчетная схема типового проекта №3.407-68 «Промежуточные опоры 35 кВ», двухцепная промежуточная стойка. Загружение соответствует нагружению №1а в типовом проекте – для определения сечений поясов ствола опоры. Кроме проектных нагрузок к схеме добавлялись различные смещения одного из подножников опоры на величину, допускаемую нормативами.

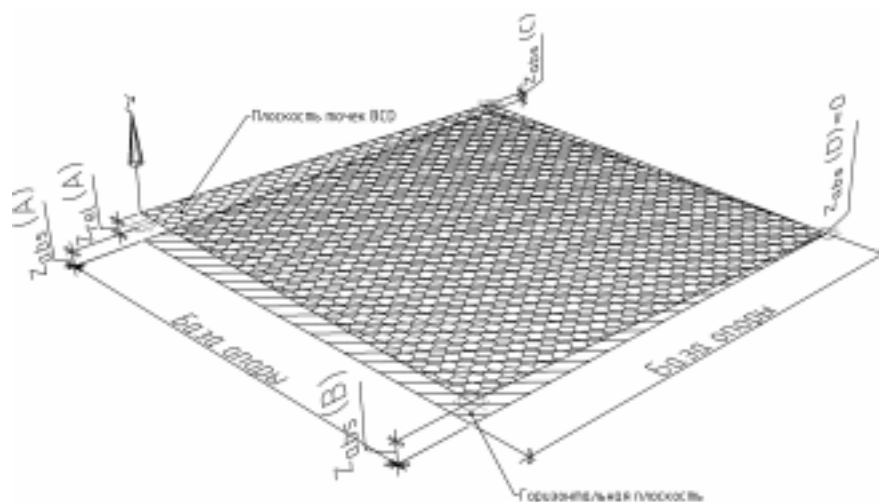


Рисунок 1. Схема взаимного расположения опорных точек.

Расчетная схема – с закреплением всех четырех подножников (аналогично проектной). В результате расчета выявилось расхождение значений усилий с проектными менее 1%. Максимальное использование сечения 76,93%. (В расчетной схеме со свободным (не закрепленным) подножником система становится внешне статически определимой, в ней максимальное использование сечения 91,56%, система устойчива.) При расчетной схеме со смещенным подножником на 5 мм вниз максимальное использование сечения 91,78%, система устойчива. При расчетной схеме со смещенным подножником на 10 мм вниз максимальное использование сечения 115,8%, система теряет устойчивость

при смещении меньше допустимых 20 мм. При смещении подножника на 5 мм вверх – максимальное использование сечения 95,62%, система устойчива. При расчетной схеме со смещенным подножником на 10 мм вверх – максимальное использование сечения 107,57%, и система теряет устойчивость при смещении меньше допустимых 20 мм.

На основе этого можно сделать вывод о существенном влиянии закрепления подножников, их положения относительно друг друга и всего сооружения на напряженно-деформированное состояние всей конструкции, а также о необходимости регламентации зависимости между допустимым креном опоры и разностью отметок подножников.

Список использованной литературы:

1. Барг И.Г., Эдельман В.И. Воздушные линии электропередачи: Вопросы эксплуатации и надежности. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 248 с.: ил.
2. Крюков К.П. и др. Конструкции и расчет металлических и железобетонных опор линий электропередачи. Изд. 2-е. Л., «Энергия», 1975. — 456 с. с ил.
3. Пособие по проектированию стальных конструкций опор воздушных линий (ВЛ) электропередачи и открытых распределительных устройств (ОРУ) подстанций напряжением свыше 1 кВ (к СНиП 11-23-81* «Стальные конструкции») / Энергосетьпроект: Минэнерго СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1989. 72 с.
4. РД 34.20.504-94. Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35-800кВ.
5. СНиП III-18-75 «Металлические конструкции». М.: Стройиздат, 1976.
6. Типовой проект. Унифицированные стальные нормальные опоры ВЛ 35, 110 и 150 кВ. Промежуточные опоры 35 кВ. Шифр ПЗ5-2Н. Л.: Энергосетьпроект, 1972.