

«Сейфуллин оқулары – 18: « Жастар және ғылым – болашаққа көзқарас» халықаралық ғылыми -практикалық конференция материалдары = Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 18: « Молодежь и наука – взгляд в будущее» - 2022.- Т.І, Ч.V. – С. 117-121

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 110 КВ АО «АРЭК»

*Аллабергена А., магистрант I курса
Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, г. Нур-Султан*

В статье выполнен анализ напряженно-деформированного состояния анкерно-угловой опоры ВЛ, которая рассматривается как пространственная многократно статически неопределимая сквозная система с жесткими узлами. Приводится методика и результаты расчета пространственной модели опоры в программном комплексе «SCAD». Рассматривается ряд вопросов, связанных с уточненным определением внутренних продольных усилий в элементах конструкции опоры ВЛ. При расчете анализируется совместная работа элементов решетки пространственной модели опоры. На основании расчета и обобщения результатов выполнено детальное сравнение полученных внутренних усилий с усилиями, определенными в элементах типовой опоры ВЛ от одинаковых значений нагрузок. Выполнен сравнительный анализ масс типовых и оптимальных анкерно-угловых опор У110-2 с цинковым покрытием и без него.

В настоящее время на балансе АО «АРЭК» составляет около 2505 км воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ на металлических опорах, общая масса которых достигает 334 тыс. тонн. Массовый характер возведения опор ВЛ особенно остро ставит вопрос повышения эффективности, долговечности и надежности энергетического строительства, поэтому изыскание путей дополнительной экономии стали при строительстве высоковольтных линий и пересмотр существующих типовых проектов представляет важную задачу [1,2]. В условиях рыночной экономики конструкции опор ВЛ должны обладать низкой стоимостью и гарантированным качеством, на изготовление которых будет расходоваться минимальное количество стали. Поэтому необходимо совершенствование опор ВЛ, которое возможно путем уточнения усилий в элементах опор и при проектировании с использованием численных методов. Так как в последнее время принята позиция индивидуального строительства линий электропередач, то уточнение внутренних усилий в типовых опорах для

дальнейшей их оптимизации является актуальной задачей при новом проектировании.

Воздушная линия электропередачи представляет собой сложное инженерное сооружение, в котором гибкие элементы (провода и тросы) работают совместно с жесткими (опорами), и при этом вся сеть предварительно напряжена. Элементы опор рассматриваются как пространственные системы, нагруженные силами, которые также расположены в пространстве. Эти элементы в большинстве случаев имеют призматическую или пирамидальную форму с малыми углами наклона поясов к продольной оси. Существует мнение, что в этих случаях расчет пространственных элементов достаточно производить путем разложения нагрузок на составляющие в плоскостях граней и сводить к расчету плоских ферм под действием системы сил, лежащих в плоскости фермы.

Расчет анкерно-угловой опоры У110-2+9 в «SCAD» и сравнение результатов расчета

Целью является анализ напряженно-деформированного состояния оптимальной анкерно-угловой опоры ВЛ и сравнение результатов расчета внутренних усилий с типовой опорой. Действительная расчетная схема металлической решетчатой опоры башенного типа – это пространственная многостержневая многократно статически неопределимая сквозная система с жесткими узлами. Расчет опоры ВЛ с учетом всех ее свойств, точных геометрических размеров, строгого взаимодействия элементов в узлах является не реализуемым на современном этапе из-за своей сложности [2]. Поэтому при типовом проектировании пространственная конструкция опоры ВЛ, воспринимающая и передающая на фундаменты все нагрузки и воздействия, заменяется расчетными схемами и расчленяется на элементы – плоские фермы (рис. 1а). Производится схематизация опоры и отбрасываются второстепенные факторы, которые не влияют на достоверность и требуемую точность расчета. Данные операции приводят к погрешностям в определении усилий, которые при расчете стальных конструкций частично компенсируются приближенным учетом пространственной работы. Исследования действительной работы решетчатых опор башенного типа показали, что такое приближение приводит к очень небольшим погрешностям в величине нормальных сил, действующих в стержнях всей системы [2]. Расчетной схемой опоры башенного типа является упрощенная, идеализированная схема, которая отражает наиболее существенные особенности реальной опоры, определяющей ее поведение под нагрузкой. Так, общепринято пренебрегать жесткостью узлов при определении усилий, считая их шарнирными. В дальнейшем жесткость узлов учитывается при определении расчетных длин стержней опоры ВЛ. Подобное допущение значительно упрощает расчет [2]. Построение

пространственной модели опоры ВЛ было выполнено в программном комплексе «SCAD» (рис. 1б).

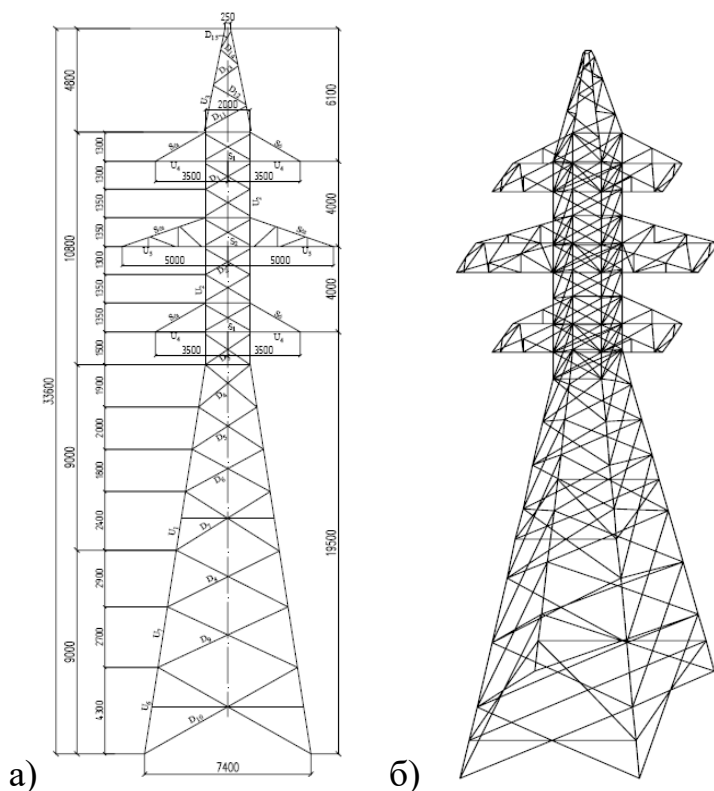


Рисунок 1. Расчетная схема анкерно-угловой опоры ВЛ У110-2+9

Для создания пространственной модели опоры были приняты следующие допущения: в расчетной схеме стержневой конструкции стержни заменялись их продольными осями, реальные опорные устройства заменялись идеальными опорными связями, собранные нагрузки с поверхности стержней переносились на оси. Расчет опоры У110-2+9 производится на нагрузки для 3-го ветрового района. Статическая составляющая, соответствующая установившемуся скоростному напору, принимается по ДБНВ.1.2-2:2006 «Нагрузки и воздействия» равной $q_0 = 0,5$ кПа. Суммарное давление ветра на конструкцию опоры $P_{расч} = 6\,436$ кг. Дальнейшая схематизация конструкции опоры состоит в определении ее расчетных размеров. По имеющимся генеральным размерам опоры в плоскости и из плоскости, габаритам сечений отдельных стержней опоры устанавливались все необходимые длины элементов, входящих в пространственную модель опоры. Последовательность ввода исходных данных для создания моделей: построение расчетной схемы, описание условий закрепления конструкции опоры в пространстве, назначение жесткостей элементов конструкции, создание схем загрузок конструкции опоры, составление расчетных комбинаций загрузок, выполнение расчета, анализ результатов расчета и сравнение полученных внутренних усилий в расчетных схемах.

Расчет анкерно-угловой опоры ВЛ У110-2+9 производится на 5 схем загрузений [3]. После расчета программа «SCAD» автоматически выдает внутренние усилия в стержнях опоры ВЛ (продольные усилия сжатия и растяжения) по каждой схеме загрузки. По результатам расчета выявляются максимальные усилия, возникающие в элементах опоры, производится их анализ и сравнение полученных результатов расчета с усилиями, определенными в типовой опоре У110-2+9.

Сравнение полученных внутренних усилий с усилиями, определенными в элементах типовой анкерно-угловой опоры У110-2+9, приведено в табл. 1.

Таблица 1- Сравнительный анализ усилий в типовой и оптимальной опорах У110-2+9

Часть опоры	Наименование элементов опоры	Обозначение элементов	Расчетные усилия сжатия N, т		Изменение усилий		Сечения элементов опор	
			тип.	опт.	т	%	тип.	опт.
Нижняя секция	Пояс	U_1	53,40	54,78	+1,38	+2,5	└ 160×10	└ 160×10
	Раскос	D_4	2,96	3,17	+0,21	+6,6	└ 70×6	└ 50×4
	Раскос	D_5	2,25	2,11	-0,14	-6,2	└ 70×6	└ 50×4
	Раскос	D_6	1,67	1,69	+0,02	+1,1	└ 70×6	└ 50×4
	Раскос	D_7	1,46	1,32	-0,14	-9,5	└ 90×7	└ 50×4
	Раскос	D'_4	3,21	3,53	+0,32	+9,1	└ 70×6	└ 50×4
	Раскос	D'_5	2,40	2,55	+0,15	+5,9	└ 70×6	└ 50×4
	Раскос	D'_6	1,80	1,81	+0,01	+0,5	└ 70×6	└ 50×4
Подставка (H = 9,0 м)	Пояс	U_6	57,30	56,65	-0,65	-1,1	└ 180×11	└ 160×10
	Раскос	D_8	1,06	1,09	+0,03	+2,8	└ 70×6	└ 60×5
	Раскос	D_9	0,96	0,95	-0,01	-1,1	└ 70×6	└ 63×5
	Раскос	D_{10}	0,88	0,79	-0,09	-10,2	└ 110×8	└ 70×5
	Раскос	D'_8	1,13	1,05	-0,08	-7,1	└ 70×6	└ 60×5
	Раскос	D'_9	1,03	0,98	-0,05	-4,8	└ 70×6	└ 63×5
	Раскос	D'_{10}	0,97	0,69	-0,28	-28,8	└ 110×8	└ 70×5

Разработка новых оптимальных конструкций опор ВЛ 110 кВ

Задача оптимизации сводится к нахождению вектора варьируемых параметров, который минимизирует целевую функцию и удовлетворяет ограничениям и условиям. Система ограничений формируется автоматически в виде проверок целевой функции, выражение которой является сложной нелинейной задачей, т. к. велико число варьируемых параметров [2].

При оптимизации конструкций анкерно-угловых опор 110 кВ заданными параметрами являлись база и ширина верхней части ствола, которая определяется электрическими габаритами. Варьировались количество и длины панелей, длины поясных секций, тип решетки и диафрагмы ствола, тип узловых сопряжений раскосов с поясами.

В качестве примера произведенного оптимизационного расчета приведена таблица 2, в которой выполнен сравнительный анализ расчетных усилий и сечений стержней для нижней секции и подставки ($H = 9,0$ м) типовой и оптимальной анкерно-угловых опор У110-2+9. Обозначение элементов в таблице 2 принято в соответствии с рис. 1а.

Результатом оптимизации опоры У110-2+9 явилось снижение массы с 11,391 до 8,383 т, или на 35,9 %. Осуществлен переход с поясного уголка 180×11 на 160×10 для девятиметровой подставки оптимальной опоры [1]. Сравнение по массе типовых и оптимальных опор приведено в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение масс типовых и оптимальных опор У110-2

№ п/п	Тип опоры	Масса опоры*		Экономия на 1 опору по сравнению с типовой	
		типовая опора, КМ	оптимальная опора, КМД	кг	%
1	У110-2	<u>7704</u>	<u>5676</u>	<u>2028</u>	<u>35,7</u>
		8002	5910	2092	35,4
2	У110-2+5	<u>9717</u>	<u>7185</u>	<u>2532</u>	<u>35,2</u>
		10095	7481	2614	34,9
3	У110-2+9	<u>11391</u>	<u>8383</u>	<u>3008</u>	<u>35,9</u>
		11834	8728	3106	35,6
4	У110-2+14	<u>14643</u>	<u>10476</u>	<u>4176</u>	<u>39,8</u>
		15212	10908	4304	39,5

* в числителе – масса неокрашенной опоры; в знаменателе – масса опоры с цинковым покрытием.

Результаты исследований рекомендуются к рассмотрению и изготовлению, монтажу и эксплуатации оптимальной башенной опоры АО «АРЭК». Эффективность заключается в снижении массы конструкции опоры на 39,5 % по сравнению с типовой опорой за счет более точного определения усилий в пространственной модели, пересчета коэффициентов продольного изгиба, введения сложной шпренгельной решетки, выбора оптимального типа профиля и узловых сопряжений.

Выводы

1. Разработаны оптимальные двухцепные анкерно-угловые опоры ВЛ 110 кВ, технологичные в изготовлении и монтаже. При этом масса опор уменьшилась на 35,2–39,8 % по сравнению с опорами ВЛ 110 кВ действующей унификации.

2. При расчете пространственной модели анкерно-угловой опоры ВЛ У110-2+9 в результате совместной работы элементов наблюдается снижение внутренних усилий в элементах пространственной модели в среднем на 18 %,

по сравнению с усилиями, определенными в типовой опоре ВЛ от одинаковых значений нагрузок.

Список использованной литературы

1 Шевченко Е.В., Совершенствование металлических конструкций опор воздушной линии электропередачи [Текст]: моногр. / Е.В. Шевченко. - М.: ДонГАСА, 1999. -169 с.

2 Шевченко Е.В., Оптимальное проектирование конструкций башенных анкерно-угловых опор ВЛ 110 кВ [Текст]: моногр. / Е.В. Шевченко, А.В. Танасогло - М.: ДонГАСА, 1999. -169 с.

3 Правила устройства электроустановок. [Текст]: – Министерство энергетики РК – 2015. – 391 с