



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

N1, ТОМ 16 (2010) 31-39

УДК 621.315.1:624.014

(10)-0206-1

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДВОХЛАНЦЮГОВОЇ АНКЕРНО-КУТОВОЇ ОПОРИ ПЛ 330 КВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ

Є. В. Шевченко, В. О. Глухов, А. В. Танасогло

Кафедра "Металеві конструкції", Донбаська національна академія будівництва і архітектури, вул. Державіна 2, 86123, м. Макіївка, Україна.

E-mail: sodrujestvo3@mail.ru

Отримана 15 січня 2010; прийнята 22 січня 2010

Анотація. У статті виконано аналіз напружено-деформованого стану анкерно-кутової опори повітряної лінії (ПЛ), що розглядається як просторова багаторазово статично невизначена наскрізна система із шарнірними вузлами. Приводиться методика й результати розрахунку плоскої й просторової моделі опори в програмному комплексі "SCAD" і в програмних комплексах "USL" і "MISI1", розроблених у Донбаській національній академії будівництва і архітектури. Приділено увагу основним проблемам, які можуть виникнути при задаванні вихідних даних і побудові розрахункових схем для розрахунку таких конструкцій. Розглядається ряд питань, пов'язаних з уточненням визначенням внутрішніх поздовжніх зусиль в елементах конструкції опори ПЛ. При розрахунку аналізується спільна робота елементів решітки просторової моделі опори, враховується включення в роботу діафрагм жорсткості й розкосів по всім чотирьом граням. На підставі розрахунку й узагальнення результатів виконане детальне порівняння отриманих внутрішніх зусиль із зусиллями, визначеними в елементах типової опори ПЛ від однакових значень навантажень.

Ключові слова: повітряна лінія електропередачі, плоска модель, просторова модель, металева опора, розрахункові навантаження, діафрагма жорсткості.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДВУХЦЕПНОЙ АНКЕРНО-УГЛОВОЙ ОПОРЫ ВЛ 330 КВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Е. В. Шевченко, В. А. Глухов, А. В. Танасогло

Кафедра "Металлические конструкции", Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.

E-mail: sodrujestvo3@mail.ru

Получена 15 января 2010; принята 22 января 2010

Аннотация. В статье выполнен анализ напряженно-деформированного состояния анкерно-угловой опоры воздушной линии (ВЛ), которая рассматривается как пространственная многократно статически неопределимая сквозная система с шарнирными узлами. Приводится методика и результаты расчета плоской и пространственной моделей опоры в программном комплексе "SCAD" и в программных комплексах "USL" и "MISI1", разработанных в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Уделено внимание основным проблемам, которые могут возникнуть при задании исходных данных и построении расчетных схем для расчета таких конструкций. 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, учитывается включение в работу диафрагм жесткости и раскосов по всем четырем граням. На основании расчета и обобщения результатов выполнено детальное сравнение полученных внутренних усилий с усилиями, определенными в элементах типовой опоры ВЛ от одинаковых значений нагрузок.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, плоская модель, пространственная модель, металлическая опора, расчетные нагрузки, диафрагма жесткости.

STUDY OF A MODE OF DEFORMATION OF A DOUBLE-CIRCUIT CORNER DEAD-END SUPPORT VL 330 KV USING DIFFERENT SOFTWARE PACKAGES

Ye. V. Shevchenko, V. A. Glukhov, A. V. Tanasoglo

*Department of metal structures, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Derzavin str. 2, 86123, Makeyevka, Ukraine.
E-mail: sodrujestoo3@mail.ru*

Received 15 January 2010; accepted 22 January 2010

Abstract. There is analyzed a mode of deformation of a corner dead-end support of overhead power transmission lines (OPTL) which is considered as a spatial multiple indeterminate open system with flexible joints. There is given a design procedure and design data of a plane spatial pattern support in the software package "SCAD" and in the software packages "USL" and "MIS11" developed in the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. An attention is given to the basic problems which can occur in setting initial parameters and in constructing design models for such structures. There are considered a number of problems connected with a refined specification of internal longitudinal stresses in the components of an OPTL structure. In designing there is analyzed a joint operation of the lattice components of a support spatial pattern model, an inclusion of stiffening diaphragms and diagonal element members in the operation on all four faces is taken into account. On the base of design and extension of the results there was thoroughly compared the internal forces obtained and the ones specified in the components of a pattern OPTL support on the similar values of loads.

Keywords: overhead power transmission line, plane model, spatial model, metal tower, design loads, stiffening diaphragm.

Актуальность темы

В настоящее время в энергосистемах Украины эксплуатируется около 40 тыс. км воздушных линий электропередачи на металлических опорах, общая масса которых достигает 600 тыс. тонн. Массовый характер возведения опор ВЛ особенно остро ставит вопрос повышения эффективности, долговечности и надежности энергетического строительства, поэтому избыкание путей дополнительной экономии стали при строительстве высоковольтных линий и пересмотр существующих типовых проектов представляет важную задачу.

В условиях рыночной экономики Украины конструкции опор ВЛ должны обладать низ-

кой 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.

Обзор литературы и формулировка проблемы

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 [1].

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 [2], 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.

В работе [4] изложены основные принципы расчета сложных инженерных сооружений, реализованного в ПК "SCAD" и аналогичных вычислительных комплексах, основанных на методе конечных элементов.

Описание алгоритма программного комплекса "USL"

Рассмотрим применение метода конечных элементов (МКЭ) для пространственных шарнирно-стержневых систем, которыми являются конструкции воздушных линий, в программном комплексе "USL". При использовании данного метода представляется возможным четко сформулировать три группы уравнений, как это сделано в теории упругости: 1) *статические*, описывающие равновесное состояние системы; 2) *геометрические*, устанавливающие связь между деформациями и перемещениями; 3) *физические*, которые связывают между собой силы и деформации.

Для примера рассмотрим нижнюю секцию анкерно-угловой опоры УЗ30-2+9, изображенную на рисунке 1. В такой пространственной ферме 44 узла и 104 стержня (без учета горизонтальных диафрагм). Некоторые узлы в силу конструктивных особенностей и принятых допущений могут перемещаться только в определенной плоскости. В опоре ВЛ такими узлами являются узлы, расположенные на боковых гранях в местах пересечения раскосов. Если систему осей координат расположить таким образом, чтобы одна из них была нормальна к грани опоры, то уравнение статики, соответствующее этой оси, не составляется. Поэтому в данной ферме количество уравнений статики 100: для 20 узлов на ребрах составляется по

3 уравнения, для 20 узлов на боковых гранях составляется по 2 уравнения. Опорные 4 узла закреплены шаровыми опорами. Степень статической неопределимости равна 4. Решить задачу определения усилий в стержнях такой пространственной фермы, пользуясь только уравнениями равновесия, невозможно. Такие системы являются статически неопределимыми.

Обозначим через $\bar{A}(m, n)$ матрицу коэффициентов при неизвестных величинах в системе уравнений статики, \bar{F} – вектор внешних узловых нагрузок, \bar{N} – вектор неизвестных величин (усилий в стержнях). Система уравнений статики в матричной форме имеет вид:

$$\bar{A} \cdot \bar{N} = \bar{F}, \tag{1}$$

Система геометрических уравнений:

$$\bar{\Delta} = \bar{A}^T \cdot \bar{U} \text{ или } \bar{A}^T \cdot \bar{U} - \bar{\Delta} = 0, \tag{2}$$

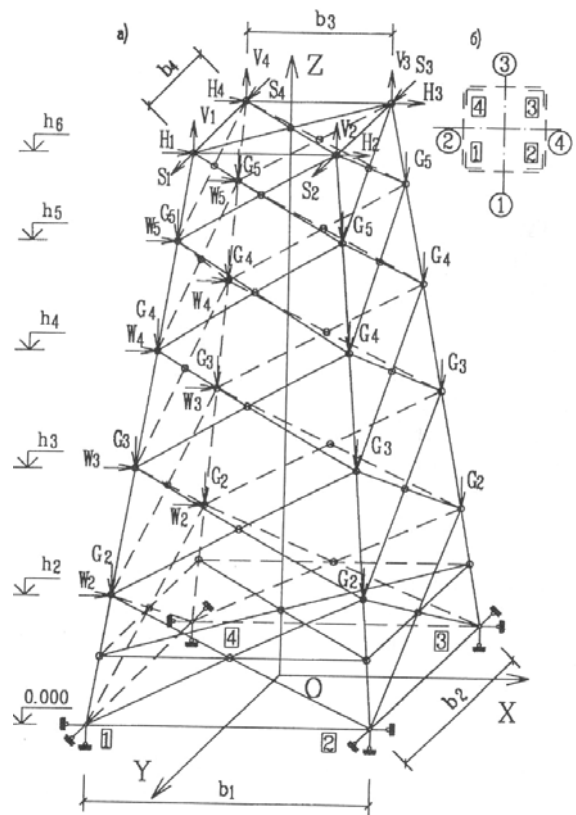


Рис. 1. Схема пространственной конструкции нижней части опоры УЗ30-2+9: а – расчетная схема; б – нумерация поясов и граней.

где \bar{A}^T – матрица, транспонированная по отношению к статической матрице \bar{A} ;

$\bar{\Delta} = \{\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n\}$ – вектор деформаций;

$\bar{U} = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ – вектор перемещений.

Система физических уравнений:

$$\bar{N} = \bar{K} \cdot \bar{\Delta}, \quad (3)$$

где $\bar{K} = (k_{ij}), (i = j = 1, 2, \dots, n)$ – диагональная матрица жесткости:

$$k_{ij} = \begin{cases} E \cdot S_i / l_i & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases}$$

Здесь E – модуль упругости, постоянная величина;

S_i – сечение i -го стержня;

l_i – длина i -го стержня.

Таким образом, имеем три вида уравнений.

Общее число уравнений в этой системе $m+2n$. Неизвестных в этой системе тоже $m+2n$: n усилий в стержнях, n деформаций стержней, m проекций перемещений узлов на оси координат. Такая система уравнений имеет единственное решение. Следовательно, для шарнирно-стержневой упругой системы от заданных нагрузок получаем единственное распределение усилий, деформаций и перемещений. Такая система является математической моделью расчета шарнирно-стержневой упругой системы.

Из системы физических уравнений выразим вектор усилий через вектор деформаций и подставим в систему статических уравнений:

$$\bar{A} \cdot \bar{K} \cdot \bar{\Delta} = \bar{F}$$

В полученное матричное уравнение вместо вектора деформаций подставим выражение из геометрической системы:

$$\bar{A} \cdot \bar{K} \cdot \bar{A}^T \cdot \bar{U} = \bar{F}$$

В последнем матричном уравнении неизвестным является вектор перемещений, причем количество уравнений в последней системе совпадает с числом неизвестных. Решая эту систему, имеем:

$$\bar{U} = (\bar{A} \cdot \bar{K} \cdot \bar{A}^T)^{-1} \cdot \bar{F} = \bar{B}^{-1} \cdot \bar{F}$$

где $\bar{B} = (\bar{A} \cdot \bar{K} \cdot \bar{A}^T)$, а \bar{B}^{-1} ей обратная матрица.

После нахождения вектора перемещений, используя систему геометрических уравнений, можно найти вектор деформаций:

$$\bar{\Delta} = \bar{A}^T \cdot \bar{U} = \bar{A}^T \cdot \bar{B}^{-1} \cdot \bar{F} = \bar{A}^T \cdot (\bar{A} \cdot \bar{K} \cdot \bar{A}^T)^{-1} \cdot \bar{F}$$

И, наконец, из системы физических уравнений находится вектор усилий в стержнях:

$$\bar{N} = \bar{K} \cdot \bar{\Delta} = \bar{K} \cdot \bar{A}^T \cdot (\bar{A} \cdot \bar{K} \cdot \bar{A}^T)^{-1} \cdot \bar{F}$$

Обозначим через \bar{C} матрицу:

$$\bar{C} = \bar{K} \cdot \bar{A}^T \cdot (\bar{A} \cdot \bar{K} \cdot \bar{A}^T)^{-1}, \text{ тогда } \bar{N} = \bar{C} \cdot \bar{F}$$

Если вычислить элементы матрицы \bar{C} , то, умножая матрицу \bar{C} на вектор нагрузок, можно рассчитать усилия в стержнях в зависимости от различных внешних нагрузок. Выражение для матрицы \bar{C} очень громоздкое, так как для получения матрицы \bar{C} надо пять матриц перемножить и для одной вычислить обратную. Если в машинной памяти хранить элементы всех матриц и перемножение матриц производить непосредственно, то это займет много времени.

Подойдем к решению этой задачи с точки зрения экономии времени, т.е. уменьшим количество математических операций.

Рассматривая матрицы \bar{A} и \bar{A}^T для нашего примера с опорой (рис. 1), можно увидеть, что большинство коэффициентов равны нулю, и поэтому рационально работать только с ненулевыми элементами. Так, в матрице $\bar{A}(m, n)$ из 10400 ненулевыми являются всего лишь 508 элементов; в матрице $\bar{B}(m, n)$ из 10000 ненулевых 1484, а с учетом симметрии лишь 742.

Нахождение вектора перемещений. После того, как ненулевые элементы матрицы \bar{B} размещаются в памяти, можно приступить к решению матричного уравнения:

$$\bar{B} \cdot \bar{U} = \bar{F}$$

Итогом его решения является вектор перемещений \bar{U} . После нахождения вектора перемещений из геометрических уравнений находится вектор деформаций, а затем, используя физические соотношения, и вектор усилий.

Для решения вышеприведенного матрично-го уравнения удобно использовать **метод Халецкого** [5]. Этот метод заключается в том, что матрица \bar{A} представляется в виде произведения двух треугольных матриц, одна из которых имеет нули выше главной диагонали, а другая — ниже главной диагонали, а по главной диагонали — единицы. При этом, так как матрица \bar{A} симметричная, то элементы верхней треугольной матрицы выражаются через элементы нижней треугольной матрицы.

Заметим, что в памяти можно хранить одну нижнюю треугольную матрицу. В этой матрице ненулевых элементов будет не очень много, хотя уже значительно больше, чем в матрице \bar{B} . Количество ненулевых элементов можно подсчитать, не вычисляя матрицу непосредственно. Дело в том, что нижняя треугольная матрица в схеме Халецкого формируется по столбцам, причем в некоторой строке ненулевые элементы появляются не раньше, чем в строке под этим же номером в матрице \bar{A} . В расчете двухцепной анкерно-угловой опоры УЗ30-2+9 количество ненулевых элементов приблизительно равно 1300.

Расчет анкерно-угловой УЗ30-2+9

Целью данной работы является анализ напряженно-деформированного состояния анкерно-угловой опоры ВЛ в программных комплексах и сравнение результатов расчета внутренних усилий с типовым расчетом.

Действительная расчетная схема металлической решетчатой опоры башенного типа - это пространственная стержневая многократно статически неопределимая система с шарнирными узлами.

Расчет опоры ВЛ с учетом всех ее свойств, точных геометрических размеров, строгого взаимодействия элементов в узлах на современном этапе не реализуем из-за его сложности. 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. 2, а). Производится схематизация опоры, отбрасываются второстепенные факторы, которые не влияют на достоверность и требуемую точность расчета. Исследования действительной работы решетчатых опор башенного типа показали, что

Таблица 1. Схемы расчетных нагрузок на опору УЗ30-2+9.

Режим	Характеристика режима	Схема загрузки
Нормальный режим	Провода и трос не оборваны и покрыты гололедом. Ветер направлен вдоль осей траверс. $t = -5^{\circ}\text{C}$; $C = 20$ мм. $q_n^H = 15$ кг/м ² ; $q_r^H = 20$ кг/м ² . IV-й район гололеда. $\alpha = 60^{\circ}$. Без разности тяжений. Провод 2хАС400, трос С-70. Схема является расчетной для поясов ствола опоры.	
Аварийный режим	Оборван провод, дающий наибольший изгибающий момент на опору. Трос не оборван. $t = -5^{\circ}\text{C}$; $C = 20$ мм. $q = 0$. IV-й район гололеда. $\alpha = 60^{\circ}$ без разности тяжения. Провод 2хАС400, трос С-70. Схема является расчетной для расколов ствола опоры, пояса траверсы.	

такое приближение приводит кочень небольшим погрешностям в величине нормальных сил, действующих в стержнях всей системы.

Пространственная модель опоры ВЛ показана на рисунке 2, б.

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.

Последовательность ввода исходных данных для создания моделей: построение расчетной схемы,

описание условий закрепления конструкции опоры в пространстве, назначение жесткостей элементов конструкции, создание схем загружений конструкции опоры, составление расчетных комбинаций загружений, выполнение расчета, анализ результатов расчета и сравнение полученных внутренних усилий в расчетных схемах.

Расчет анкерно-угловой опоры ВЛ УЗ30-2+9 производится на нагрузки для 3-го ветрового района для нормального и аварийного режимов, т.е. на 2 схемы загружений (табл. 1).

Статическая составляющая, соответствующая установившемуся скоростному напору, принимается по ДБН В.1.2-2:2006 "Нагрузки и воздействия" равной $q_0 = 0,5$ кПа.

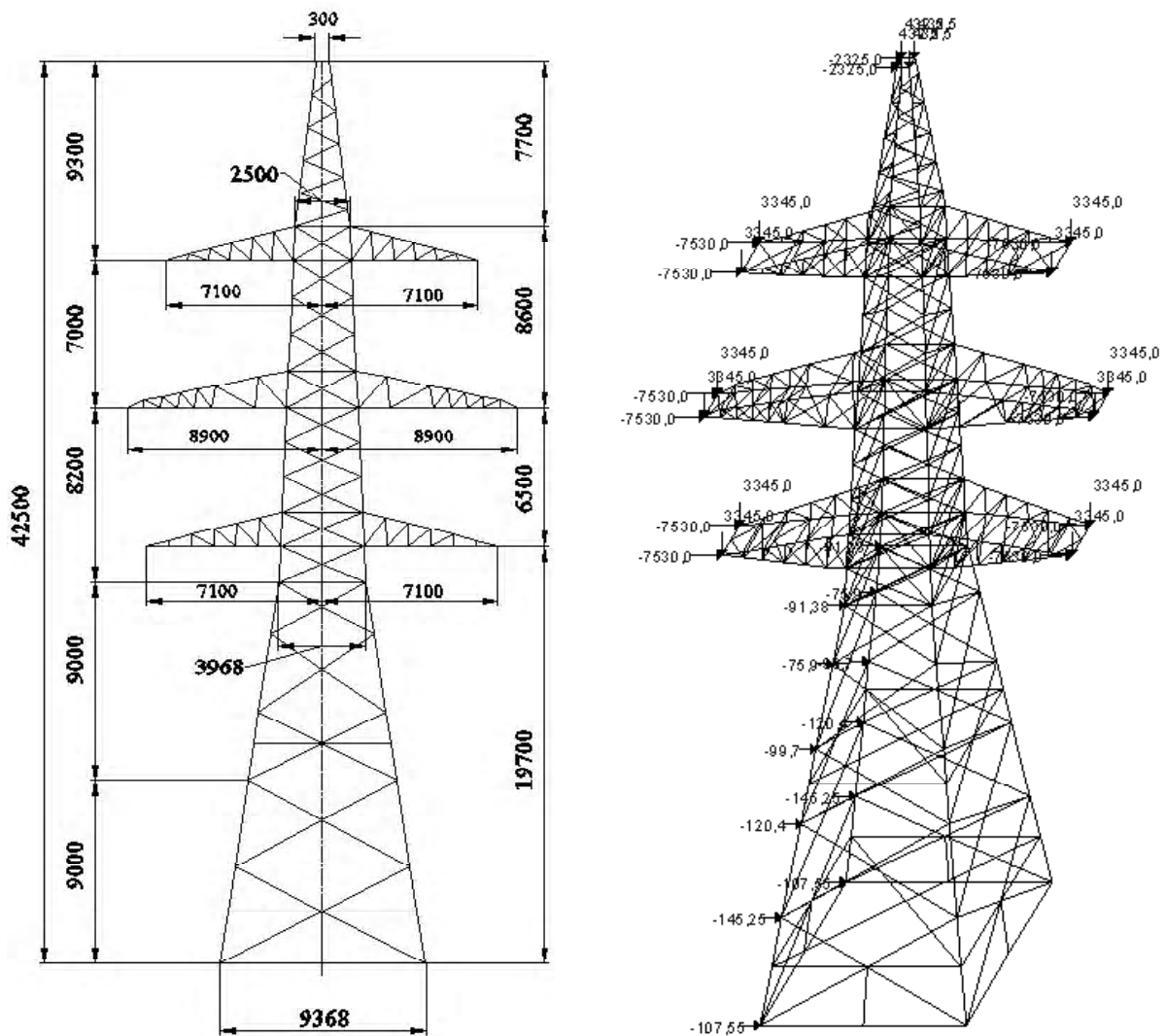


Рис. 2. Расчетная схема анкерно-угловой опоры ВЛ УЗ30-2+9.

Таблица 2. Результаты определения расчетных усилий в нижней части ствола опоры У330-2+9.

Расчетный режим	Тип стержня	Расположение стержня	Расчетные усилия в стержнях нижней части опоры, т			
			ПК «USL»	ПК «SCAD»	ПК «MISI1»	Типовой расчет
Нормальный режим	Пояс	Нижний	163,9	160,05	164,99	156,3
		Верхний	153,3	149,89	152,81	148,1
	Раскос	Нижний	4,06	4,75	5,17	-
		Верхний	8,01	8,12	8,92	-
Аварийный режим	Пояс	Нижний	129,4	131,32	128,84	-
		Верхний	119,9	122,21	118,99	-
	Раскос	Нижний	5,85	6,51	6,2	6,44
		Верхний	12,57	12,69	12,99	12,2

Таблица 3. Результаты определения перемещений ствола опоры У330-2+9.

		Отметка, м													
		0	4,6	8,63	11,85	15,53	18	19,7	22,95	26,2	30,6	34,8	40,19	42,5	
Перемещение, мм	Нормальный режим	0	7	26	51	91	126	184	251	326	385	451	562	596	
	Аварийный режим	0	3	17	34	61	86	125	170	221	279	337	418	474	

Суммарное давление ветра на конструкцию опоры $P_{расч} = 9630$ кг.

После расчета были получены внутренние усилия в стержнях опоры ВЛ (продольные усилия сжатия и растяжения) по каждой схеме нагружения.

По результатам расчета определялись максимальные усилия, возникающие в элементах опоры, производился их анализ и сравнение полученных результатов расчета в программных комплексах с усилиями, определенными при расчете плоской модели типовой опоры.

Полученные внутренние усилия при расчете нижней части ствола анкерно-угловой опоры У330-2+9 приводятся в таблице 2, а перемещения всего ствола — в таблице 3.

Выводы

1. При расчете пространственной модели анкерно-угловой опоры ВЛ У330-2+9 в результате совместной работы элементов решетки (за счет включения в работу диафрагм жесткости и раскосов по всем четырем граням) наблюдается снижение внутренних усилий в элементах пространственной модели в среднем на 6,8%, по сравнению с усилиями, определенными в типовой опоре ВЛ от одинаковых значений нагрузок.
2. Анализ результатов, представленных в таблице 2, подтверждает положение, что при действии нагрузки в одной из плоскостей симметрии опоры в работу включаются

раскосы граней, расположенные в плоскостях, перпендикулярных этой нагрузке, что в свою очередь догружает пояса нижней секции решетчатой конструкции опоры по сравнению с конструкцией опоры, рассчитанной способом разложения на плоские фермы (как принято при типом расчете).

3. Числовой пример расчета опоры УЗ30-2+9 показывает, что вполне допустим расчет решетчатых конструкций ВЛ в программном комплексе "USL", разработанном в ДонНАСА, т. к. погрешность определения усилий в стержнях находится в пределах 2%, а затраты машинного времени меньше, чем при расчете в ПК "SCAD".

Литература

1. Зеличенко А. С, Смирнов Б. И. Проектирование механической части воздушных линий сверхвысокого напряжения. — М.: Энергоиздат, 1981. — 336 с.
2. Крюков К.П. Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчёт линий электропередачи, 2-е изд. — Л.: Энергия, 1979. — 312 с.
3. Справочник по проектированию линий электропередачи / Под ред. С.С.Рокотяна и М.А. Реута. — М.: Энергия, 1980. — 296 с.
4. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. — К.: ВПП "SCAD", 2001. — 448 с.
5. Шевченко Е.В., Глухов В.А., Сапронов Ю.В., Удахин С.А. Расчет башенной опоры воздушной линии электропередачи как пространственной шарнирно-стержневой системы // "Будівництво України", 2000. — №1-2000. — С. 41-44.
6. Шевченко Е.В. Совершенствование металлических конструкций опор воздушных линий электропередачи / Изд. 2-е. — Макеевка: ДонНАСА, 1999. — 169 с.
7. Горохов Е.В., Казакевич М.И., Шаповалов С.Н., Назим Я.В. Аэродинамика электросетевых конструкций. — Донецк, 2000. — 336с.
8. Gorokhov E.V. Durability of Steel Structures Under Reconstruction. — Rotterdam: Brookfield, 1999. — 297 с.
9. Dobbs M. W. and Felton L. P. Optimization of truss geometry // J. of Str. Div, ASCE. — 1969. — V. 95. — P. 2105-2118.
10. Friedland L. R. Geometric structural behavior. Thesis presented to Columbic University, at New York in 1971. — 98 p.
11. Ghannoum E. Reliability and security concepts applied to structural design of transmission lines // 10-th Annual Eng. Conf. on Reliability. Availab., Maintainab of Electric Power Jnt /Monreal, May. — 1983. — P. 988-991.
12. IEEE Transactions on PAS. —1981. — Vol. 100. — N° 7. — P. 12.
13. Schmit L. A. Structural design by systematic synthesis // Proc. of the Second ASCE Conf. on Electric Comput. — Pittsburg, 1960. — P. 105-122.
14. H. Spillers W. R. Iterative design for optimal geometry // J. of Str. Div, ASCE. — 1975.—V. 101.— P. 1435-1442.
15. Wood A. O., Mcllellan M. Transmission line design the ultimate load concept //CIGRE, 1982.—Rep. 22-01.

Шевченко Євген Володимирович — доктор технічних наук, професор кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Української асоціації з металевих конструкцій, академік Академії будівництва України. Наукові інтереси: оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередачі і антенних опор. Участь в розробці будівельних норм проектування.

Глухов В'ячеслав Олександрович — кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри "Вища й прикладна математика та інформатика" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка математичних методів при проектуванні, виготовленні й монтажі будівельних конструкцій і споруд.

Танасогло Антон Володимирович — аспірант кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередач і антенних опор.

Шевченко Евгений Владимирович — доктор технических наук, профессор кафедры "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, академик Академии строительства Украины. Научные интересы: оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор. Участие в разработке строительных норм проектирования.

Глухов Вячеслав Александрович — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры "Высшая и прикладная математика и информатика" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка математических методов при проектировании, изготовлении и монтаже строительных конструкций и сооружений.

Танасогло Антон Владимирович — аспирант кафедры "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор.

Shevchenko Yevgeny Vladimirovich — professor, a member of the Ukrainian Association on Metal Structures, an Academician of the Academy of Civil Engineering of Ukraine. Scientific interests: optimal design of overhead power transmission line and antenna support structures. Participation in the development of the design building norms.

Glukhov Vyacheslav Alexandrovich — Ph. D. (Physics and Mathematics), an associate professor of the Department "Higher and Applied Mathematics and Informatics". Scientific interests: development of mathematical methods on design and manufacture and assembly of building structures and buildings.

Tanasoglo Anton Vladimirovich — a postgraduate of the Department "Metal Structures". Scientific interest: optimal design of overhead power transmission line and antenna supports.