



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

№3, ТОМ 14 (2008) 189-199

УДК 624.97:620.91

(08)-0166-1

## **ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ АНТЕННИХ ОПОР ПІД ДІЄЮ ОЖЕЛЕДНЬО-ВІТРОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

**А.М. Альохін**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
вул. Державина 2, 86123, м. Макіївка, Україна.*

*E-mail: andrey-alyochin@rambler.ru, Alyokhin\_20@mail.ru*

*Отримана 20 червня 2008; прийнята 30 червня 2008*

**Анотація.** У статті приведені результати чисельних досліджень антенної опори АО-60 під дією ожеледно-вітрових навантажень. Проведений статичний розрахунок опори за методикою розрахунку антенних опор. Вітрові та ожеледно-вітрові навантаження зібрані згідно з ДБН [4]. Розрахунки проведені у програмному комплексі «SCAD Office 11» методом МКЕ та методом модального аналізу (динамічний розрахунок) для III-го вітрового та IV-го ожеледного районів для визначення деформативності та резонансу опори, а також порівняння їх з нормативними значеннями.

**Ключові слова:** статичний та динамічний розрахунки, антенна опора, вітрове навантаження, ожеледні навантаження, схема навантаження, переміщення, частота, резонанс, коливання, деформативність, ожеледно-вітрові навантаження.

## **ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ АНТЕННЫХ ОПОР ПРИ ДЕЙСТВИИ ГОЛОЛЁДНО-ВЕТРОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

**А.М. Алёхин**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.*

*E-mail: andrey-alyochin@rambler.ru, Alyokhin\_20@mail.ru*

*Получена 20 июня 2008; принята 30 июня 2008*

**Аннотация.** В статье представлены результаты численных исследований антенной опоры АО-60 при действии гололедно-ветровых воздействий. Произведен статический расчет опоры по методике расчета антенных опор. Ветровые и гололедно-ветровые нагрузки собраны по ДБН [4]. Расчеты произведены в программном комплексе «SCAD Office 11» методом МКЭ и методом модального анализа (динамический расчет) для III-го ветрового и IV-го гололедного районов для определения деформативности и резонанса опоры, а также сравнения их с нормативными значениями.

**Ключевые слова:** статический и динамический расчеты, антенная опора, ветровая нагрузка, гололедная нагрузка, схема загрузки, перемещения, частота, резонанс, колебания, деформативность, гололедно-ветровые воздействия.

## NUMERICAL RESEARCHES OF ANTENNA TOWER CONDUCT UNDER ICE AND WIND ATTACKS

А.М. Alyokhin

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
Derzavin str. 2, 86123, Makeyevka, Ukraine.*

*E-mail: andrey-alyochin@rambler.ru, Alyokhin\_20@mail.ru*

*Received 20 June 2008; accepted 30 June 2008*

**Abstract.** The paper is devoted to the results of the numerical researches on an antenna tower of the joint-stock company 60 under wind and ice attacks. There was carried out a static design of the tower by the procedure of designing antenna towers. Wind and ice-wind loads were collected by the State Building Norm (SBN) [4]. The design was fulfilled in the program complex "SCAD Office 11" by the MFE and modal analysis (dynamic design) methods for the 3rd wind and 4th ice regions to determine tower dimensional instability and resonance and to compare them with the normative values.

**Keywords:** static and dynamic designs, antenna tower, wind load, ice load, loading scheme, movement, frequency, resonance, vibrations, dimensional instability, ice and wind attacks.

### 1. Статический расчет опоры АО-60 по методике ДБН

Для антенных опор рекомендуется следующая последовательность расчета [10]:

- 1) определить по приближенным формулам в соответствии с геометрическими размерами башни значение периода собственных колебаний башни  $T$ ;
- 2) определить в соответствии со значениями  $T$  и районом установки расчетный скоростной напор;
- 3) башню делить по высоте на несколько участков. Вначале определить нагрузки и сечения элементов верхней секции, при этом расчет вести методом попыток, с тем, чтобы ветровая нагрузка на выбранные сечения вызвала расчетные напряжения;
- 4) рассчитать аналогично указанному последовательно вторую (от вершины) и затем следующие секции башни;
- 5) определить прогиб башни, который не должен превосходить допустимого  $f=H/100$  [8, 10].

Схема опоры и ее геометрические характеристики приведены на рис. 1.1 и 1.2.

#### 1.1. Определение периода собственных колебаний опоры АО-60

Главной динамической характеристикой башни является период собственных колебаний ос-

новного тона. Значение этой характеристики входит при определении ветровой нагрузки.

Определение периода собственных колебаний опоры производим методом последовательных приближений [7, 10].

Для башни (вертикально стоящего стержня) переменного сечения, жестко заделанной в основании, значение  $T$  периода собственных колебаний определяем энергетическим методом [7, 10]:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^r P_k \cdot y_k}{g \cdot y_0}}, \quad (1.1)$$

где  $P_k$  – сила веса массы  $k$ -го участка опоры, кН;  $y_k$  – перемещения точек оси опоры под действием силы  $P=1$  кН на верхний конец сооружения.

Перемещения от единичной силы  $P=1$  кН определяем с помощью интеграла Мора, как для консольной балки постоянного сечения. Максимальное перемещение  $y_0$  определяем по формуле Мора [7]:

$$y_0 = \frac{\omega \cdot \eta}{EI} = \frac{1}{EI} \cdot \frac{1}{2} Pl^2 \cdot \frac{2}{3} l = \frac{Pl^3}{3EI}, \quad (1.2)$$

где  $P$  – единичная нагрузка, кН;  $l$  – высота опоры, м;  $EI$  – жесткость сечения балки.

Для определения перемещений  $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5$ ,  $y_6$  применяем формулу:

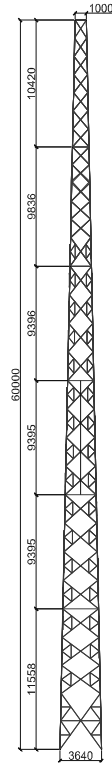


Рис. 1.1. Конструктивная схема опоры АО-60.

$$y_{\max} = \frac{Px^2}{6EI} \cdot (3l - x), \quad (1.3)$$

где  $x$  – отметка приложения масс  $P_k$ , м.  
 Результаты перемещений заносим в таблицу 1.1.

**1.2. Расчет ветровой нагрузки**

Наибольшая доля усилий во всех высотных сооружениях возникает от действия на них ветра и обледенения [1, 2, 3, 5, 10].

Наиболее опасные направления ветра при расчете поясов и решетки башен с прямоугольной формой поперечного сечения в плане показаны на рис. 1.3.

Расчет ветровой нагрузки ведем по п. 9 ДБН [4].

Предельное расчетное значение ветровой нагрузки определяем по формуле:

$$W_m = \gamma_{fm} W_0 C, \quad (1.4)$$

где  $\gamma_{fm}$  – коэффициент надежности по предельному значению ветровой нагрузки, определяемый по 9.14;

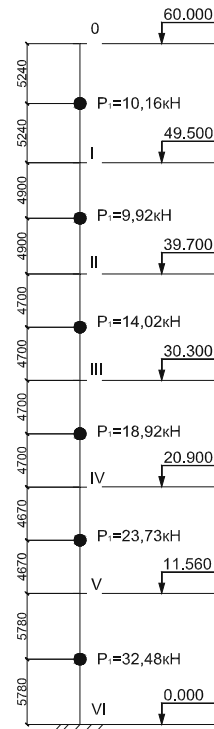


Рис. 1.2. Расчетная схема опоры АО-60.

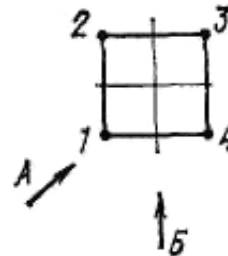


Рис. 1.3. Схемы наиболее опасных направлений ветра: А - при расчете поясов; Б - при расчете решетки для башен.

$W_0$  – характеристическое значение ветрового давления по 9.6;

$C$  – коэффициент, определяемый по 9.7.

Коэффициент надежности по предельному расчетному значению ветровой нагрузки  $\gamma_{fm}$  определяем в зависимости от заданного среднего периода повторяемости  $T$  по табл. 9.1.

ДБН допускает для объектов массового строительства принимать средний период повторяемости  $T$  равным установленному сроку эксплуатации конструкции  $T_{ef}$ . Срок эксплуатации

Таблица 1.1.

№/№ п/п	$y_k$ м	$P_k \cdot y_k^2$ , кНмм <sup>2</sup>
$y_0$	0,3429	-
$y_1$	0,2186	0,486
$y_2$	0,0955	0,090
$y_3$	0,0286	0,0115
$y_4$	0,0051	0,0005
$y_5$	0,0016	0,000061
$y_6$	0,00014	0,00000063
	$\sum P_k \cdot y_k^2$	0,692

башен и мачт равен  $T_{ef}=40$  лет (Приложение В). По табл. 9.1 принимаем  $\gamma_{fm}=0,96$ .

Эксплуатационное расчетное значение ветровой нагрузки определяем по формуле:

$$W_e = \gamma_{fe} W_0 C, \quad (1.5)$$

где  $\gamma_{fe}$  – коэффициент надежности по эксплуатационному значению ветровой нагрузки, определяемый по 9.15.

Характеристическое значение ветрового давления  $W_0$  определяем в зависимости от ветрового района по карте (рис. 9.1) или по приложению Е. При расчете опоры для г. Донецка принят III-й ветровой район,  $W_0=500$  Па.

Коэффициент  $C$  определяем по формуле:

$$C = C_{aer} C_h C_{alt} C_{rel} C_{dir} C_d, \quad (1.6)$$

где  $C_{aer}$  – аэродинамический коэффициент, определяемый по 9.8;  $C_h$  – коэффициент высоты сооружения, определяемый по 9.9;  $C_{alt}$  – коэффициент географической высоты, определяемый по 9.10;  $C_{rel}$  – коэффициент рельефа, определяемый по 9.11;  $C_{dir}$  – коэффициент направления, определяемый по 9.12;  $C_d$  – коэффициент динамичности, определяемый по 9.13.

Аэродинамический коэффициент  $C_{aer}$  определяем по схеме 18 «Решетчатые башни и пространственные фермы».

$$C_t = C_x (1 + \eta) k_1 \quad (1.7)$$

Коэффициент  $C_x$  определяем по схеме 16, а коэффициент  $\eta$  – по схеме 17. Коэффициент  $k_1$  принимаем равным 1,0, так как поперечное сечение опоры принято четырехгранным.

Коэффициент  $C_x$  определяем по формуле:

$$C_x = \frac{1}{A_k} \sum C_{xi} A_i \quad (1.8)$$

Ветровую нагрузку относим к площади, ограниченной контуром конструкции  $A_k$ , при этом предполагается, что сумма площадей  $A_i$ , являющихся проекциями  $i$ -х элементов на плоскость конструкции, удовлетворяет условию:

$$\varphi = \frac{\sum A_i}{A_k} \leq 0,8 \quad (1.9)$$

Площади  $A_k$  и  $A_i$  рассчитываем для каждой секции отдельно. Для секций  $A_{O-I}=2,961\text{см}^2$ ,  $A_{I-II}=2,565\text{см}^2$ ,  $A_{II-III}=3,52\text{см}^2$ ,  $A_{III-IV}=4,056\text{см}^2$ ,  $A_{IV-V}=4,69\text{см}^2$ ,  $A_{V-VI}=6,404\text{см}^2$ . Площади конструкции определяем как площадь трапеции для каждой секции  $A_{kO-I}=2,961\text{см}^2$ ,  $A_{kI-II}=2,565\text{см}^2$ ,  $A_{kII-III}=3,52\text{см}^2$ ,  $A_{kIII-IV}=4,056\text{см}^2$ ,  $A_{kIV-V}=4,69\text{см}^2$ ,  $A_{kV-VI}=6,404\text{см}^2$ .

Аэродинамический коэффициент  $i$ -го элемента конструкции  $C_{xi}$  для профилей определяем по схеме 15. Направление ветра на угловой профиль принимаем  $45^\circ$  и  $135^\circ$ , тогда коэффициенты  $C_{xi}=+1,14$  и  $C_{xi}=+1,08$ .

Коэффициент  $\eta$  зависит от коэффициента  $\varphi$  и отношения  $b/h$ . Принимаем  $b/h=1$ ,  $\varphi_{O-I}=0,242$ ,  $\varphi_{I-II}=0,176$ ,  $\varphi_{II-III}=0,2$ ,  $\varphi_{III-IV}=0,186$ ,  $\varphi_{IV-V}=0,184$ ,  $\varphi_{V-VI}=0,169$ , тогда  $\eta_{O-I}=0,776$ ,  $\eta_{I-II}=0,853$ ,  $\eta_{II-III}=0,81$ ,  $\eta_{III-IV}=0,835$ ,  $\eta_{IV-V}=0,839$ ,  $\eta_{V-VI}=0,866$ .

Коэффициент высоты сооружения  $C_h$  определяем по табл. 9.02 для III-го типа местности

для каждой секции опоры. Промежуточные значения  $C_h$  определяем методом линейной интерполяции в зависимости от высоты  $Z$  приложения нагрузки. Получаем  $C_{h0-I}=2,25$ ,  $C_{hI-II}=2,06$ ,  $C_{hII-III}=1,99$ ,  $C_{hIII-IV}=1,558$ ,  $C_{hIV-V}=1,58$ ,  $C_{hV-VI}=1,247$ .

Коэффициент географической высоты  $C_{alt}$  учитывает высоту  $H$  (в километрах) размещения строительного объекта над уровнем моря и определяется по формуле:

$$C_{alt} = 4H - 1 \quad (H > 0,5 \text{ км});$$

$$C_{alt} = 1 \quad (H < 0,5 \text{ км}). \quad (1.10)$$

Принимаем  $C_{alt} = 1$ .

Коэффициент рельефа  $C_{rel}$  учитывает микрорельеф местности вблизи площадки, на которой расположен строительный объект, и принимается равным единице, за исключением случаев, когда объект строительства расположен на холме или склоне.

Коэффициент динамичности  $C_d$  учитывает влияние пульсационной составляющей ветровой нагрузки и пространственную корреляцию ветрового давления на сооружение.

В случаях, когда  $C_d > 1,2$ , необходимо выполнять специальный динамический расчет, с помощью которого определяется влияние пульсационной составляющей ветровой нагрузки. Пульсационную составляющую ветровой нагрузки определяем по СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия» п. 6.7 б, при  $f_1 < f_l$  ( $1,1 < 3,8$ ), так как логарифмический декремент по п. 6.8  $\delta = 0,15$  (для стальных башен, матч, футерованных дымовых труб, аппаратов колонного типа, в том числе на железобетонных постаменты) определяем по формуле [8]:

$$w_p = w_m \xi \zeta v, \quad (1.11)$$

где  $W_m$  – определяем по п. 6.3;

$\zeta$  – коэффициент пульсаций давления ветра на уровне  $Z$  принимаем по табл. 9.02 ДБН;

$v$  – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра,  $v = 1$  ДБН;

$\xi$  – коэффициент динамичности, определяемый по черт. 2 в зависимости от параметра

$\varepsilon = \frac{\sqrt{\gamma_f W_0}}{940 f_1}$  и логарифмического декремента колебаний  $\delta$  по СНиП.

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\gamma_f W_0}}{940 f_1} = 0,07 \quad (1.12)$$

$\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке,  $\gamma_f = 1,4$  по п. 6.11;

$W_0$  – нормативное значение ветрового давления, Па,  $W_0 = 500$  Па.

Принимаем  $\xi = 2,15$ .

Получаем коэффициент динамичности  $C_{d0-I} = 1,1$ ,  $C_{dI-II} = 1,02$ ,  $C_{dII-III} = 1,05$ ,  $C_{dIII-IV} = 1,05$ ,  $C_{dIV-V} = 1,0$ ,  $C_{dV-VI} = 1,0$ .

Полученные расчетом ветровые нагрузки представлены на рис. 1.4 и рис. 1.11.

#### 1.4. Расчет гололедно-ветровой нагрузки

Предельное расчетное значение веса гололедных отложений определяем по формуле [4]:

$$G_m = G_e \gamma_{fm}, \quad (1.13)$$

где  $\gamma_{fm}$  – коэффициент надежности по предельному значению веса гололедных отложений определяемый в соответствии с 10.10;

$G_e$  – характеристическое значение веса гололедных отложений, определяемое по 10.5 для линейной гололедной нагрузки и по 10.6 для гололедной нагрузки.

Предельное расчетное значение поверхностной гололедной нагрузки (Па) на плоскостные элементы определяем по формуле:

$$G_e = bk \mu_2 \rho g \quad (1.14)$$

где  $\mu_2$  – отношение площади поверхности элемента, подверженной обледенению, к полной площади поверхности элемента. При отсутствии данных наблюдений допускается принимать  $\mu_2$  равным 0,6;

$b$  – толщина стенки гололеда, мм, определяемая по табл. 10.1 с учетом требований п.10.7;

$k$  – коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололеда по высоте  $h$  и принимается по табл. 10.2;

$\rho$  – плотность льда, принимаемая равной  $0,9 \text{ г/см}^3$ ;

$g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ . Принимаем ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

Характеристическое значение толщины стенки гололеда  $b$  (мм), превышаемое в среднем один раз в 50 лет, на элементах кругового

сечения диаметром 10 мм, расположенных на высоте 10 м над поверхностью земли, определяется в зависимости от гололедного района по карте (рис. 10.1) или по приложению Ж. Принимаем  $b=22$  мм для IV-го района [4, 6, 12, 13].

Предельное расчетное значение нормального давления ветра на покрытые гололедом элементы определяем по формуле:

$$W_q = W_0 \gamma_{fm}, \quad (1.15)$$

где  $\gamma_{fm}$  – коэффициент надежности по предельному значению нормального давления ветра на покрытые гололедом элементы, определяемый в соответствии с 10.11.

Давление ветра на покрытые гололедом элементы определяем по формуле (4.15) с заменой  $W_0$  на  $W_0$  и принимая при этом  $C_{rel}=1$ ,  $C_{dir}=1$  и  $C_d=1$ .

Коэффициент надежности по предельному значению ветра гололедных отложений  $\gamma_{fm}$  определяем в зависимости от заданного среднего периода повторяемости  $T$  по табл. 10.4. Принимаем  $\gamma_{fm}=0,95$ .

Коэффициент надежности по предельному значению нормального давления ветра на покрытые гололедом элементы  $\gamma_{fw}$  определяем в зависимости от заданного среднего периода повторяемости  $T$  по табл. 10.5. Принимаем  $\gamma_{fw}=0,95$ .

Для объекта массового строительства допускается средний период повторяемости  $T$  принимать равным установленному сроку эксплуатации конструкции  $T_{ef}$ . Принимаем  $T_{ef}=40$  лет.

Гололедно-ветровые нагрузки представлены на рис. 1.13.

### 1.5. Определение перемещений

Предельно допустимое перемещение для башен высотой  $H$  обычно принимают равным  $H/100$ , если в проектном задании или технических ус-

ловиях не оговорено иное значение. Высота антенной опоры составляет 60,0 метров, поэтому согласно табл. 47 п. 16.9 СНиП II-23-81\* «Стальные конструкции», допустимый прогиб должен быть не более  $f=H/100=60000/100=600$  мм [5, 8, 10].

Расчет опоры АО-60 ведем в программном комплексе «SCAD Group 11.01» методом конечных элементов (МКЭ). Расчетная схема опоры задавалась пространственной с жестким прикреплением раскосов к поясам (так как расчеты практически не выявили различий между расчетными схемами и шарнирным прикреплением узлов), состоящая из 1383 элементов и 609 узлов (рис. 1.4, 1.5).

В расчете учитывались постоянные и климатические нагрузки. К климатическим нагрузкам относятся ветровые, гололедные и гололедно-ветровые воздействия.

Перемещения антенной опоры АО-60 рассчитывались по четырем схемам загрузки:

- 1-я схема загрузки – ветер под  $90^\circ$ , собственная масса и вес оборудования;
- 2-я схема загрузки – ветер под  $45^\circ$ , собственная масса и вес оборудования;
- 3-я схема загрузки – 0,25 от максимального действия ветра на одну грань, собственная масса, вес оборудования и гололед по ДБН [ ];
- 4-я схема загрузки – 0,25 от максимального действия ветра на одну грань, собственная масса, вес оборудования и гололед с уточненным коэффициентом  $\mu_2$ .

Схемы нагрузок с перемещениями представлены на рис. 1.6 – рис. 1.11.

Опора рассчитывалась на комбинации нагрузок, дающие наибольшие усилия в элементах или наибольшие перемещения в опоре.

Результаты расчета представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Максимальные перемещения опоры по схемам загрузки.

Направление перемещений	1-я схема	2-я схема	3-я схема
Перемещения, мм			
X	518	408	245
Y	17	377	8,0



Рис. 1.4. Общий вид опоры с узлами.

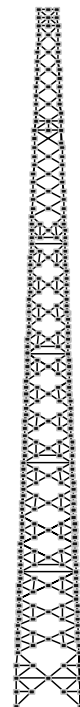


Рис. 1.5. Вид спереди опоры с узлами.

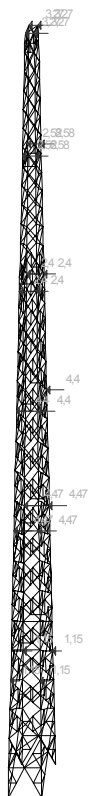


Рис. 1.6. Схема приложения нагрузки (1-я схема загрузения).



Рис. 1.7. Деформация опоры по 1-й схеме загрузения  $f_x=518$  мм,  $f_y=17$  мм.





Таблица 1.3. Максимальные перемещения опоры по 4-й схеме загрузки.

Направление перемещений	4-я схема загрузки
Перемещения, мм	
X	251
Y	8,0

При выборе самого невыгодного сочетания нагрузок и воздействий в соответствии с указаниями п. 4.18 за одну переменную нагрузку принимали:

- а) нагрузку от ветровой нагрузки;
- б) нагрузку от гололедно-ветровой нагрузки в соответствии с п. 10.

Также производился расчет опоры с полученными значениями гололедно-ветровой нагрузки в климатической камере ДонНАСА для определения перемещений опоры в двух направлениях X и Y. Схема приложенной нагрузки и деформация опоры АО-60 представлена на рис. 1.12 – рис. 1.13.

Расчетные значения перемещений антенной опоры по 4-й схеме загрузки представлены в табл. 1.3.

### 1.6. Динамический расчет

Масса и жесткость конечных элементов определены по фактическим размерам сечения конструктивных элементов башни. Средняя составляющая ветровой нагрузки, действующей на каждый ее элемент, определялись в соответствии с указаниями СНИП [8]. Для башни, расположенной в III-м ветровом районе и, следовательно, при ее динамическом расчете на действие ветра достаточно учитывать колебания по трем нижшим собственным формам. Для сравнения можно отметить, что в соответствии с указаниями СНИП  $f_{1(СНИП)} = 3,8 Гц$ .

Динамический расчет производим для определения резонанса антенной опоры АО-60 от собственного веса опоры. Расчет опоры производим

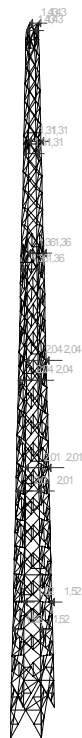


Рис. 1.12. Схема приложения нагрузки (4-я схема загрузки).



Рис. 1.13. Деформация опоры по 4-й схеме загрузки  $f_x = 245$  мм,  $f_y = 8$  мм.

Таблица 1.4. Максимальные перемещения.

Загружение	№/№ п/п	Собственные значения	Частоты		Периоды
			1/с	Гц	сек.
6	1	0.146237	6.838188	1.088883	0.918371
	2	0.138012	7.24574	1.15378	0.866716
	3	0.0698031	14.32601	2.281211	0.438363
	4	0.0555067	18.01581	2.868759	0.348582
	5	0.0536972	18.62294	2.965436	0.337218
	6	0.0525365	19.03345	3.030947	0.329929
	7	0.0480193	20.82493	3.316072	0.301561
	8	0.0463231	21.58748	3.437498	0.290909
	9	0.0459066	21.78333	3.468684	0.288293
	10	0.0450341	22.20538	3.535889	0.282814

в программном комплексе «SCAD Office 11» методом модального анализа (МГСН). Исходные данные для расчета опоры АО-60:

- 1) III-й ветровой район (район строительства г. Донецк);
- 2) тип местности – III (пригородные и промышленные зоны, протяженные лесные массивы);
- 3) логарифмический декремент принимался для стальных башен и мачт по п. 6.8б [8].

В расчете учитывались 10 форм собственных колебаний. Деформации опоры при резонансе представлены на рис. 1.14.

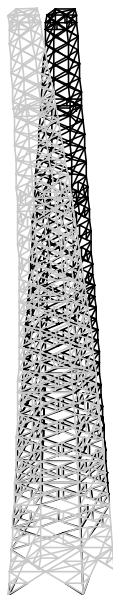


Рис. 1.14. Резонанс опоры АО-60, период колебаний  $T=0,918838$  сек., частота  $\nu=1,088$  Гц.

Результаты численных исследований представлены в табл. 1.4.

По результатам динамического расчета сделаны следующие выводы, что частота собственных колебаний антенной опоры составляет  $\nu=1,089$  Гц, так как период колебаний  $T=0,918371$  с, что не превышает допустимой частоты  $f_{I(СНП)}=3,8$  Гц.

#### Выводы

1. В результате статистического расчета перемещения составили:
  - а) по 1-й схеме  $f_x=518$ мм,  $f_y=17$ мм;
  - б) по 2-й схеме  $f_x=408$ мм,  $f_y=377$ мм;
  - в) по 3-й схеме  $f_x=245$ мм,  $f_y=8$ мм;
  - г) по 4-й схеме  $f_x=251$ мм,  $f_y=8$ мм;
2. Перемещения антенной опоры с уточненным коэффициентом  $\mu_2$  увеличились на 3%.
3. Частота собственных колебаний антенной опоры составила  $\nu=1,089$  Гц, период колебаний  $T=0,918371$  с, что не превышает допустимой частоты СНП  $f_{I(СНП)}=3,8$  Гц.

#### Литература

1. Аэродинамика электромережных конструкций / С.В. Горохов, М.И. Казакевич, С.М. Шаповалов, Я.В. Назим; За ред. С.В. Горохова, М.И. Казакевича. – Донецк, 2000. – 336 с.
2. Броверман Г.Б. Строительство мачтовых и башенных сооружений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. Стройиздат, 1984. – 256 с., ил.
3. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи / Е.В. Горохов, М.И. Казакевич, С.В. Турбин, Я.В. Назим и др; под ред. Е.В. Горохова. – Донецк, 2005.-348 с.

4. ДБН В.1.2-2:2006 «Нагрузки и воздействия». Нормы проектирования. Издание официальное. Киев, Минстрой Украины, 2006.
5. Металлические конструкции/ Под ред. Н.П. Мельникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. Стройиздат, 1980. – 776 с. – (Справочник проектировщика).
6. Правила улаштування електроустановок. Розділ 2 Передавання електроенергії. Глава 2.5 Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1кВ до 750 кВ./Об'єднання енергетичних підприємств «Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики» – Київ, 2006.
7. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра. – М.: Стройиздат, 1978. 224 с. / Центр. Науч.-исслед. Ин-т строит. Конструкций им. В. А. Кучеренко.
8. СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции /Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1991. – 96 с.
9. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия /Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.
10. Соколов А.Г. Опоры линий электропередач (расчет и конструирование). – М., 1961.
11. Стальные башни (проектирование и монтаж). Павловский В.Ф., Кондра М.П., К., Будівельник, 1979, 200 с.
12. Horokhov Ye.V., Turbin S.V., Grimud G.I. Principles of Overhead Line Reliability and Longevity Increasing under Ice and Wind Loads // 15 Internationale Baustoffagung. Weimar. Bundesrepublik Deutschland. 2003. Band 1. P. 1427-1439.
13. Horokhov Ye.V., Turbin S.V. Wind and Ice Loads on Structures. Recommendations of 10 Internationale Workshop on Atmospheric Icing of the Structures. Czech Republic. Brno. 2002. Session 8. №3.

**Альо́хін Андрій Михайлович** є асистентом кафедри «Металеві конструкції» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: ожеледні навантаження та впливи на будівельні конструкції; надійність повітряних ліній електропередачі.

**Алѐхин Андрей Михайлович** является ассистентом кафедры «Металлические конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: гололедные нагрузки на строительные конструкции, надежность воздушных линий электропередачи.

**Alyokhin Andrey Mikhailovich** is an Assistant professor of the Department of Metal Structures of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. His research interests: ice loads on building structures and overhead line reliability.