



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2012, ТОМ 18, НОМЕР 2, 135–145

УДК 621.315.1:624.014

(12)-0265-1

УТОЧНЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ДИНАМІЧНОСТІ АНКЕРНО-КУТОВОЇ ОПОРИ ПЛ 110 кВ ПРИ ДІЇ ПУЛЬСАЦІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ ВІТРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

А. В. Танасогло

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.
E-mail: a.v.tan@mail.ru.*

Отримана 14 березня 2012; прийнята 27 квітня 2012.

Анотація. У статті виконано динамічний розрахунок металевої анкерно-кутової опори повітряної лінії (ПЛ) 110 кВ на дію пульсаційної складової вітрового навантаження. Метою динамічного розрахунку металевих опор ПЛ на вітровий вплив є аналіз сталих коливань опори у вітровому потоці. При цьому характеристики вузлових переміщень, внутрішніх сил і напружень визначаються у кінцевих елементах (решітці та поясах) роздільно від дії середньої та пульсаційної складових вітрового навантаження. Наводиться методика та результати динамічного розрахунку стрижня еквівалентної жорсткості. Приділено увагу основним проблемам, які можуть виникнути при переході від просторової моделі опори до стрижня з рівномірним перерізом. Розглядається ряд питань, пов'язаних з уточненням визначення коефіцієнта динамічності. На підставі розрахунку та узагальнення отриманих результатів виконано детальне порівняння коефіцієнтів динамічності по секціях анкерно-кутової опори з коефіцієнтами динамічності стрижня еквівалентної жорсткості при дії пульсаційної складової вітрового навантаження.

Ключові слова: повітряна лінія електропередачі, металева опора, коефіцієнт динамічності, просторова модель, стрижень еквівалентної жорсткості.

УТОЧНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧНОСТИ АНКЕРНО-УГЛОВОЙ ОПОРЫ ВЛ 110 кВ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПУЛЬСАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ

А. В. Танасогло

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.
E-mail: a.v.tan@mail.ru.*

Получена 14 марта 2012; принята 27 апреля 2012.

Аннотация. В статье выполнен динамический расчет металлической анкерно-угловой опоры воздушной линии (ВЛ) 110 кВ на действие пульсационной составляющей ветровой нагрузки. Целью динамического расчета металлических опор ВЛ на ветровое воздействие является анализ установившихся колебаний опоры в ветровом потоке. При этом характеристики узловых перемещений, внутренних сил и напряжений определяются в конечных элементах (решетки и поясах) раздельно от действия средней и пульсационной составляющих ветровой нагрузки. Приводится методика и результаты динамического расчета стержня эквивалентной жесткости. Уделено внимание основным проблемам, которые могут возникнуть при переходе от пространственной модели опоры к стержню с равнопрочным сечением. Рассматривается ряд вопросов, связанных с уточненным определением коэффициента

динамичности. На основании расчета и обобщения полученных результатов выполнено детальное сравнение полученных коэффициентов динамичности по секциям анкерно-угловой опоры с коэффициентами динамичности стержня эквивалентной жесткости при действии пульсационной составляющей ветровой нагрузки.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, металлическая опора, коэффициент динамичности, пространственная модель, стержень эквивалентной жесткости.

REFINEMENT OF A DYNAMIC FACTOR OF DEAD-END SUPPORT OF OPTL 110 kV FOR ACTION OF THE PULSE COMPONENT OF WIND LOADING

Anton Tanasoglo

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.
E-mail: a.v.tan@mail.ru.*

Received 14 March 2012; accepted 27 April 2012.

Abstract. There is analyzed dynamic calculation of a metal dead-end support of overhead power transmission lines (OPTL) 110 kV for action of the pulse component of wind loading. The purpose of dynamic calculation of metal supports of OPTL for wind influence is the analysis of the established fluctuations of a support in a wind flow. Thus characteristics of central displacements, internal forces and stresses are defined in finite elements (lattices and belts) separately from action of average and pulse components of wind loading. There is given a design procedure and design dynamic data of a rod of equivalent stiffness. An attention is given to the basic problems which can occur during the transition from a support spatial pattern model to the rod of equal cross section. There are considered a number of problems connected with a refined specification of a dynamic factor. On the base of design and extension of the results there was thoroughly compared received dynamic factors on sections of a dead-end support with dynamic factors of a rod of equivalent stiffness for action of the pulse component of wind loading.

Keywords: overhead power transmission line, metal support, dynamic factor, spatial model, rod of equivalent stiffness.

1. Введение

Ветровая нагрузка для большинства сооружений, в том числе и опор линий электропередачи (с учетом ветровой нагрузки на провода и трос), является одной из определяющих.

Во всех случаях определения ветровой нагрузки на конструкцию динамическая составляющая ветрового потока рассматривается как статическая добавка к средней составляющей и не дает полного описания изменения нагрузки во времени, а следовательно, практически невозможно исследовать динамическое поведение данной конструкции.

Учитывая, что к каждому «классу» опор ВЛ, на которые сделано разделение в [4], принадлежат конструкции различной высоты, с различной базой и выполненные по различным схемам, а следовательно, имеющие различные

коэффициенты динамичности, то приведенные в [4] коэффициенты должны быть приняты с запасом, чтобы перекрывать все ошибки и неточности, которые могут возникать при подобном подходе к определению пульсационной составляющей ветровой нагрузки. В результате происходит завышение ветровой нагрузки, что приводит к утяжелению конструкции опоры.

Таким образом, учитывая тот факт, что в настоящее время принята позиция индивидуального строительства опор ВЛ под конкретные метеорологические условия, а также то, что проектирование ВЛ осуществляется в соответствии с [4], то возникает вопрос: будут ли справедливыми коэффициенты динамичности, введенные в [4] для металлических анкерно-угловых опор, при определении пульсационной составляющей ветровой нагрузки?

2. Общее решение задачи о вынужденных колебаниях сооружений

Ветер представляет собой нерегулярное, турбулентное движение воздуха, и в связи с этим при решении большинства прикладных задач, в том числе и проблем строительной динамики, скорость ветра рассматривается как случайный векторный процесс, который, как обычно, описывается своими пространственными и временными статистическими характеристиками: средней величиной, дисперсией, авто- и взаимными спектральными и корреляционными функциями [2]. При таком подходе воздействие ветра $W(z, t)$ на здания и сооружения также может рассматриваться как случайная функция времени t и пространственной координаты $z = (z_x, z_y, z_z)$. При этом $W(z, t)$ разделяется на среднюю $W_m(z)$ и пульсационную $W_p(z, t)$ составляющие, т. е.:

$$W(z, t) = W_m(z) + W_p(z, t). \quad (1)$$

Таким образом, в качестве исходных соотношений, используемых для решения задачи о вынужденных колебаниях сооружений при действии пульсационной составляющей ветровой нагрузки, принимаются линейные уравнения движения сооружения, которые в общем случае могут быть записаны в виде:

$$m(z) \cdot \ddot{u}(z, t) + \Gamma(\ddot{u}(z, t)) + L_x(u(z, t)) = W(z, t) \quad (2)$$

и соответствующие граничные условия:

$$B(u, \dot{u}) = 0, \quad (3)$$

где $u(z, t)$ – обобщенный вектор динамических перемещений в точке с координатами $z = (z_x, z_y, z_z)$; t – время; $m(z)$ – масса; $\Gamma(\dots)$ и $L_x(\dots)$ – линейные дифференциальные операторы, описывающие соответственно диссипативные и упругие свойства сооружения; $W(z, t)$ – обобщенный вектор ветровой нагрузки; $B(\dots)$ – линейный оператор (или функция), соответствующий условиям на границе сооружения и условиям сопряжения его отдельных элементов.

Обычно при решении динамических задач строительной механики для описания диссипативных свойств сооружения используется гипотеза Фойхта. Тогда

$$\Gamma(u(z, t)) = \gamma \cdot \dot{u}(z, t), \quad (4)$$

где γ – коэффициент, характеризующий диссипацию энергии.

В общем случае вектор $u(z, t)$ включает в себя перемещения и углы поворота, а вектор $W(z, t)$ – действующие силы и моменты.

При решении прикладных задач ветровая нагрузка $W(z, t)$ рассматривается как векторный случайный стационарный процесс, который в этом случае может быть разложен в ряд Фурье:

$$W(z, t) = \sum_i w_i^p(z) \cdot \sin \omega t_i + w_i^m(z) \cdot \cos \omega t_i, \quad (5)$$

и решение краевой задачи ищется в виде ряда Фурье.

3. Определение динамической реакции сооружения

Целью динамического расчета на ветровое воздействие является анализ установившихся колебаний сооружения в ветровом потоке. При этом вероятностные характеристики узловых перемещений, внутренних сил или напряжений определяются в конечных элементах отдельно от действия средней и пульсационной составляющих ветровой нагрузки.

Следует отметить, что определение $W_m(z)$ базируется на результатах статистического анализа максимумов (месячных или годовых) средней скорости ветра за достаточно большой (>25 лет) промежуток времени.

Расчетная (максимальная) динамическая реакция сооружения определяется как амплитудное значение перемещения u_p , определенное с достаточно большой степенью обеспеченности:

$$u_p = \sigma_u \cdot \gamma_g, \quad (6)$$

где σ_u – стандарт перемещений; γ_g – коэффициент обеспеченности пульсационной составляющей ветровой нагрузки.

Теоретически, коэффициент γ_g может быть найден из условия, что реакция u с заданной вероятностью P_u не превышает расчетного значения u_p . На практике значение этого коэффициента выбирается на основании экспертных оценок и опыта эксплуатации зданий и сооружений. В нормативных документах различных стран, регулирующих ветровые воздействия, γ_g изменяется от 2,5 до 4,0; расчетные соотношения в [3] получены для $\gamma_g = 3,0$.

Стандарт реакции σ_u сооружения определяется в результате решения соответствующей динамической краевой задачи. Как правило,

этот расчет проводится численно и в линейной постановке.

Пульсационная составляющая ветровой нагрузки $W_p(z, t)$, действующая в каждой точке z на поверхности сооружений, пропорциональна сумме элементарных воздействий $\Delta w_{p,i}$, определенных на всем частотном диапазоне. Таким образом, в линейной постановке определение реакции сооружений при действии пульсационной составляющей ветровой нагрузки сводится к решению задачи о вынужденных колебаниях континуальных динамических систем или систем со многими степенями свободы при воздействиях $\Delta w_{p,i}$ и суперпозиции полученных решений для всех $i = 1, 2, \dots$

Суммарное значение реакции сооружения (перемещения, усилия, напряжения) определяется по формуле:

$$X = X^s \pm X^d, \quad (7)$$

где X – величина искомого фактора; X^s – значение рассматриваемого фактора, определяемое действием статической компоненты ветровой нагрузки; X^d – то же от действия пульсационной составляющей ветровой нагрузки.

При определении суммарного эффекта ветрового воздействия необходимо выбрать тот знак, который является более неблагоприятным:

$$X = X^s + \text{sign}(X^s) \cdot X^d. \quad (8)$$

4. Динамический расчет анкерно-угловой опоры ВЛ 110 кВ

Целью данной работы является динамический расчет металлической опоры У110-2+9 с учетом пульсационной составляющей ветровой нагрузки и определение коэффициента динамичности.

Динамический расчет выполняется двумя способами: с помощью программного комплекса (ПК) «SCAD»; с помощью приближенной методики в соответствии с [3].

4.1. Динамический расчет опоры У110-2+9 с помощью ПК «SCAD»

Анкерно-угловая опора У110-2+9 конструктивно представляет собой пространственную стержневую металлическую стойку с развитой базой высотой $H = 33,6$ м (рис. 1). Ширина у основания – 7,4 м. Опора состоит из пяти секций.

Пояса, раскосы, распорки и диафрагмы секций опоры выполнены из одиночных уголков, стыкуются элементы в узлах на болтах.

Для динамического расчета опоры принят нормальный режим: провода и трос не оборваны и не покрыты гололедом; ветер направлен вдоль осей траверс. Давление ветра на каждый провод составляет 14,7 кН, на трос – 9,2 кН. Расчет опоры производится на нагрузки для 5 ветрового района (рис. 1).

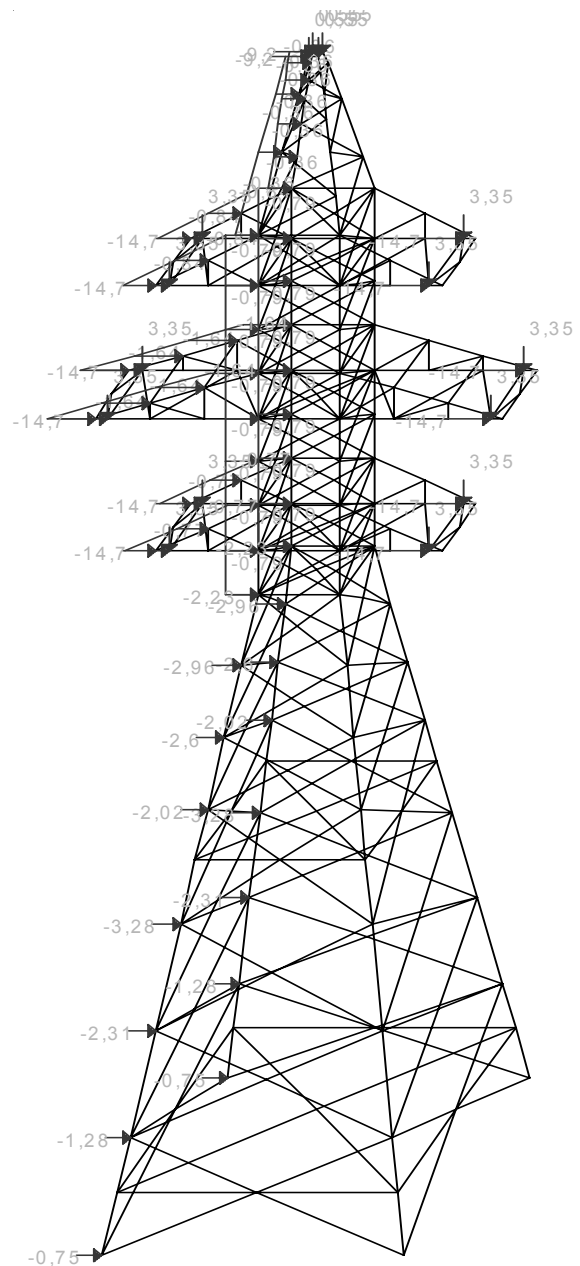


Рисунок 1. Пространственная расчетная модель опоры У110-2+9.

Так, в процессе расчета было получено распределение усилий и перемещения по секциям опоры У110-2+9 от действия статической составляющей ветровой нагрузки X^s и от совместного действия статической и динамической составляющих ветра X по формуле (8).

Далее по секциям опоры были определены коэффициенты динамичности K_d , зависящие от отношения силовых факторов и перемещений (табл. 1, табл. 2) по формуле:

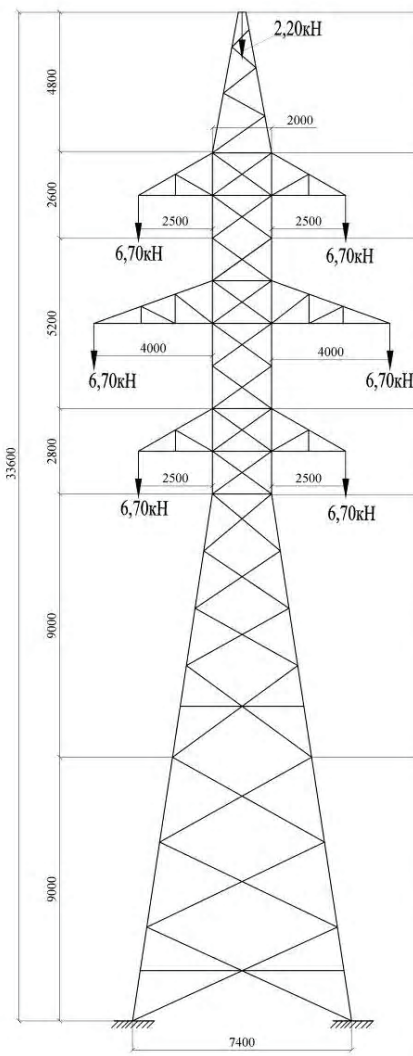
$$K_d = \frac{X}{X^s} \quad (9)$$

Более усредненным критерием, определяющим коэффициент динамичности K_d всей опоры, является отношение максимальных перемещений верхней точки опоры от суммарного действия статической и динамической составляющих ветровой нагрузки f к перемещениям от статической составляющей $f_{ст.}$:

$$K_d = \frac{f}{f_{ст.}} \quad (10)$$

так как в перемещениях учитывается распределение усилий и жесткостей по всем секциям опоры.

Таблица 1. Значение K_d в зависимости от силовых факторов и перемещений

Схема опоры У110-2+9		Продольные усилия N, т			Коэф. динамич. K_d	Перемещения см			Коэф. динамич. K_d
		статика	динамика	полные		статика	динамика	полные	
	Секция 6	2,67	2,12	4,79	1,794	19,08	14,36	33,44	1,753
	Секция 5	5,46	4,03	9,99	1,738	13,21	9,71	22,92	1,735
	Секция 4	22,57	15,70	38,27	1,696	9,89	7,08	16,97	1,716
	Секция 3	32,33	20,95	53,28	1,648	4,51	2,91	7,42	1,645
	Секция 2	44,68	23,55	68,23	1,527	2,79	1,67	4,46	1,599
	Секция 1	48,35	24,91	73,26	1,515	0,61	0,33	0,94	1,541
Среднее значение K_d ($K_{d,ср} = X / X^s$)					1,653	Среднее значение K_d ($K_{d,ср} = X / X^s$)			1,665

В нижней строке табл. 1 представлены средние значения коэффициента динамичности для опоры в целом.

На рис. 2 изображены графики изменения коэффициентов динамичности K_d по высоте пространственной модели опоры, определенных по внутренним силовым факторам (усилиям) и перемещениям.

4.2. Динамический расчет стержня эквивалентной жесткости

Для перехода от пространственной широкобазой опоры к стержню с равнопрочным сечением опора рассматривалась как пространственная конечноэлементная конструкция кусочно-переменного сечения. Для создания такой расчетной схемы опора разбивалась на участки. В пределах каждого участка жесткость конструкции считалась постоянной, а по высоте опоры жесткость ступенчато изменяется от участка к участку. Определялись усредненные жесткостные характеристики участков, массы конструкции опоры и массы проводов и тросов, которые сосредотачивались в центре расчетных участков. Подсчитывались статические составляющие ветровых нагрузок (рис. 3) и от совместного действия статической и динамической

составляющих ветра (рис. 4) на башенную опору У110-2+9, которые также сосредотачивались в уровнях масс.

Нормативное значение динамической составляющей ветровой нагрузки определяется для каждой формы колебаний опоры в виде системы инерционных сил, приложенных к сосредоточенным массам по направлениям их возможных колебаний.

Инерционная сила (кН), приложенная к сосредоточенной массе с номером j при колебаниях сооружения по i -ой собственной форме, определяется по формуле:

$$W_p^{ij} = M_j \cdot \xi_i \cdot \eta_{ij} \cdot v, \quad (11)$$

где M_j – сосредоточенная масса, т; ξ_i – коэффициент динамичности i -й формы собственных колебаний; η_{ij} – приведенное ускорение массы M_j ; v – коэффициент, учитывающий пространственную корреляцию пульсации скорости ветра по высоте опоры.

Приведенное ускорение η_{ij} определяется по формуле:

$$\eta_{ij} = \frac{a_{ij} \cdot \sum_{k=1}^r a_{ik} \cdot W_{mk} \cdot \varphi_k}{\sum_{k=1}^r a_{ik}^2 \cdot M_k}, \quad (12)$$

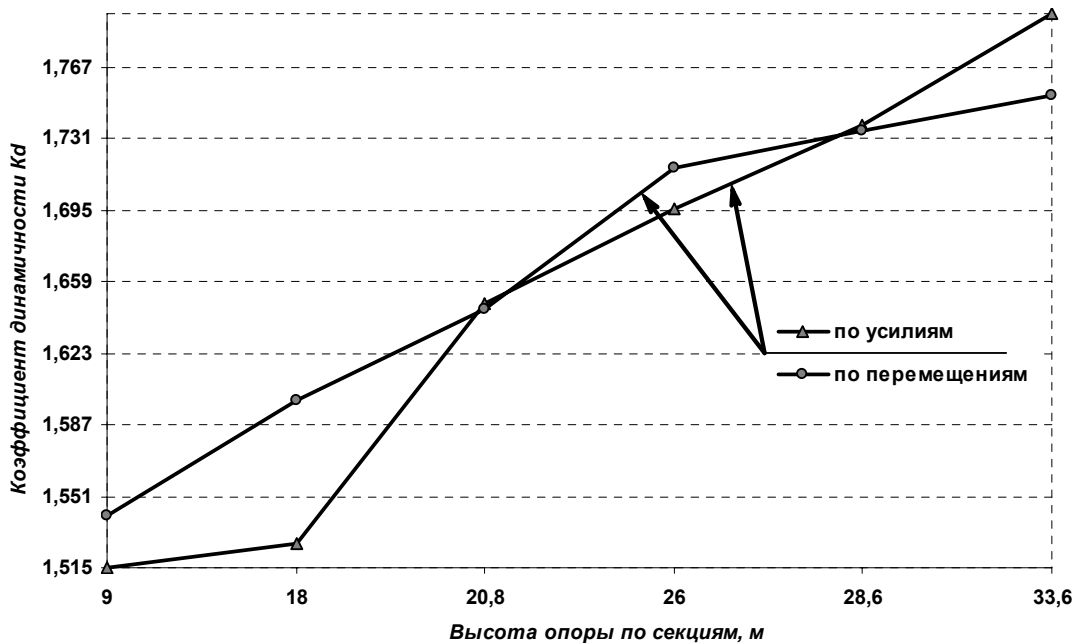


Рисунок 2. Изменение коэффициента динамичности K_d по высоте пространственной модели опоры.

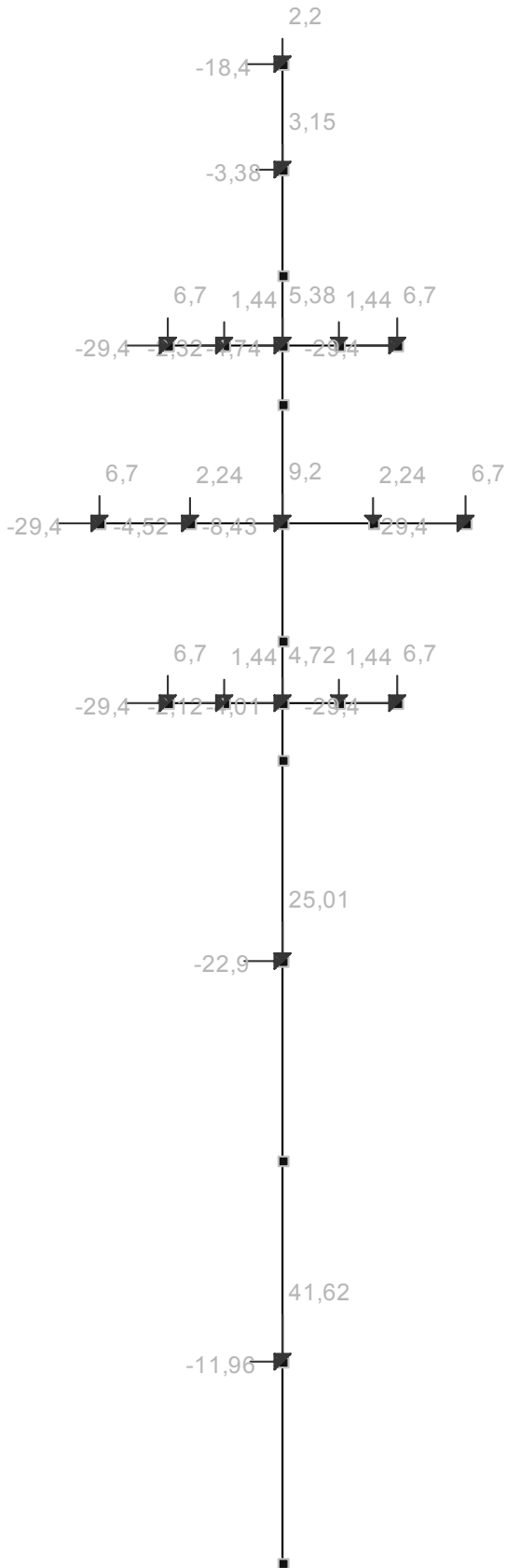


Рисунок 3. Статическая составляющая ветровой нагрузки $W_m(z)$.

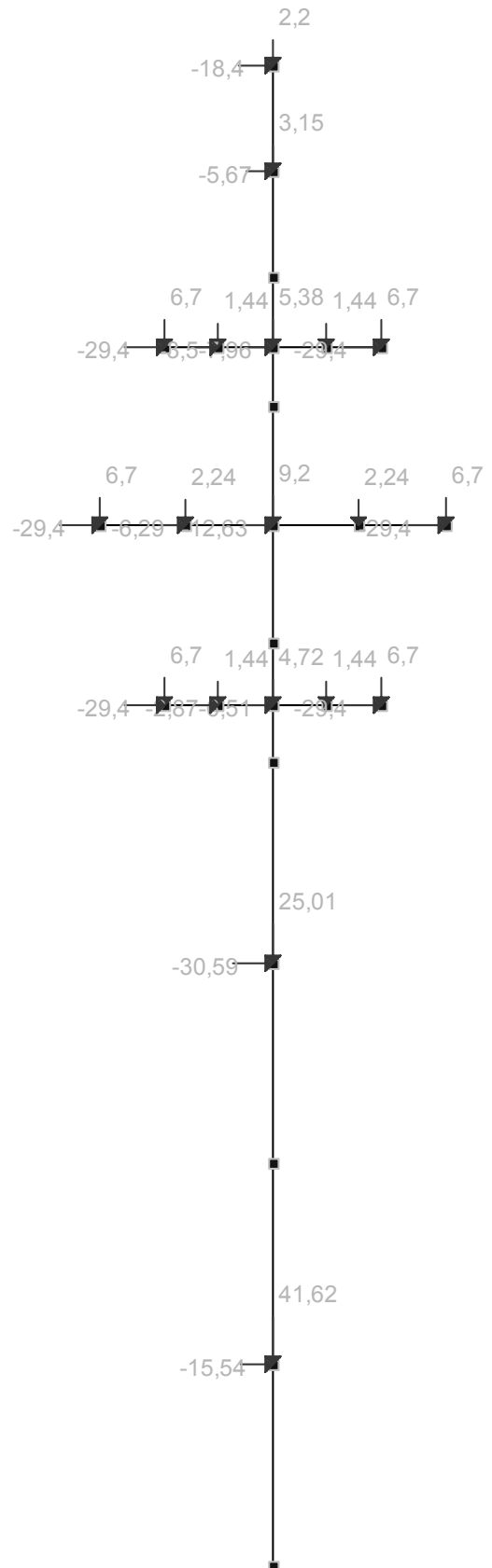


Рисунок 4. Полная ветровая нагрузка $W(z,t)$.

где M_k – k -я сосредоточенная масса; a_{ij}, a_{ik} – относительные ординаты, которые берутся из собственного вектора i -й формы колебаний; W_{mk} – нормативная ветровая нагрузка, действующая на k -ю массу; φ_k – коэффициент пульсаций скоростного напора ветра на уровне массы M_k ; r – число участков, на которые разбивается опора ВЛ.

Согласно [3] в расчетах учитываются только S первых форм собственных колебаний.

Число S определяется из условия:

$$f_s < f_1 < f_{s+1}, \quad (13)$$

где f_s – техническая частота собственных колебаний сооружения; f_1 – принимается по [3].

В соответствии с описанной выше методикой производится расчет стержня эквивалентной жесткости высотой 33,6 м.

Расчет на динамическое воздействие ветра производился по 1-й форме собственных колебаний, т. к. первая форма колебаний совпадает с направлением действия ветра. А по второй форме система совершает колебания вдоль линии электропередачи. В этом же направлении возникает поддерживающее действие проводов

Таблица 2. Значение K_d в зависимости от силовых факторов и перемещений

Стержень эквивалентной жесткости		Поперечные усилия Q_z , т		Коеф. динамич. K_d	Перемещения см		Коеф. динамич. K_d	
		статика	полные		статика	полные		
4800	m ₁₉ m ₁₈	Секция 6	0,34	0,58	1,706	2,48	3,86	1,556
2600	m ₁₅ m ₁₃ m ₁₇ m ₁₄ m ₁₆	Секция 5	1,06	1,75	1,651	1,74	2,70	1,552
5200	m ₁₀ m ₈ m ₁₁ m ₁₂ m ₉	Секция 4	2,38	3,67	1,542	1,31	2,02	1,541
2800	m ₅ m ₃ m ₆ m ₄ m ₇	Секция 3	3,01	4,63	1,538	0,62	0,94	1,516
9000	m ₂	Секция 2	5,34	7,72	1,446	0,42	0,63	1,50
9000	m ₁	Секция 1	6,56	9,30	1,418	0,10	0,15	1,50
Среднее значение K_d ($K_{d,ср} = X / X^8$)				1,550	Среднее значение K_d ($K_{d,ср} = X / X^8$)		1,528	

и тросов, поэтому 2-я форма колебаний не учитывалась.

Так, в процессе расчета было получено распределение усилий и перемещений по секциям стержневой модели (табл. 2) и определены коэффициенты динамичности K_d по формуле (10).

В нижней строке табл. 2 представлены средние значения коэффициента динамичности для стержня эквивалентной жесткости в целом.

5. Основные выводы:

1. Динамическое влияние пульсационной составляющей ветровой нагрузки W_p на распределение усилий и перемещений в металлических башенных опорах составляет до 65 % от средней статической нагрузки W_m .
2. Среднее значения коэффициента динамичности K_d для опор более рационально оп-

ределять через отношение перемещений верхних точек опоры.

3. Коэффициент динамичности K_d зависит от высоты опоры: с увеличением высоты опоры увеличивается и значения K_d по секциям опоры (рис. 2, 5).
4. Приближенная методика расчета опор ВЛ на действие ветра обеспечивает достаточно высокую точность получаемых результатов (порядка 92 %), которая вполне приемлема при проведении инженерных расчетов.
5. Применение упрощенной методики определения коэффициента динамичности K_d , изложенной в [3], позволяет практически без потери точности (с погрешностью $\approx 8\%$) получаемых результатов упростить алгоритм динамического расчета опор ВЛ на действие ветра и снизить ресурсы, необходимые для решения подобных задач.

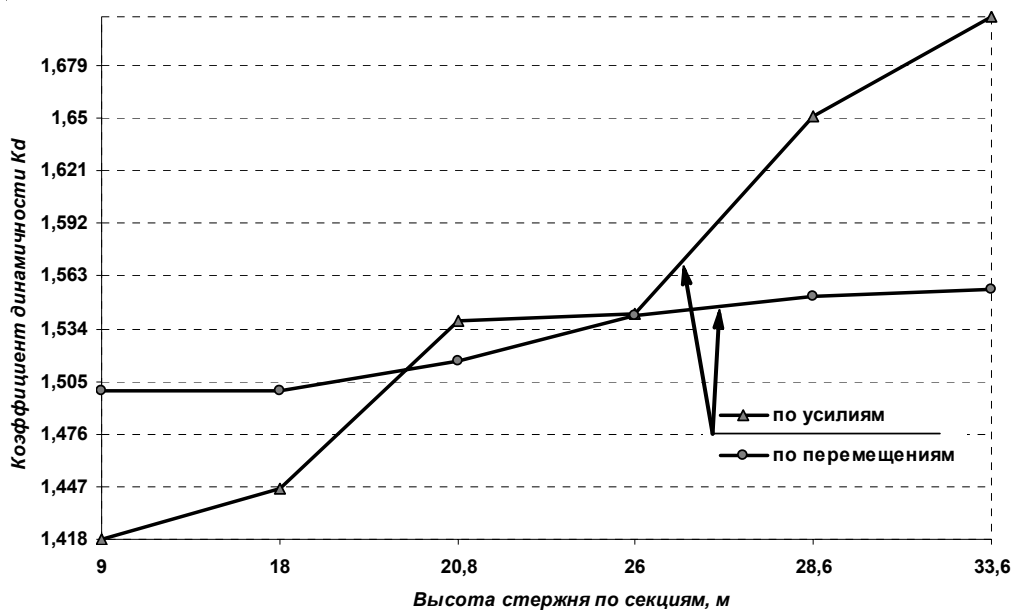


Рисунок 5. Изменение коэффициента динамичности K_d по высоте стержня эквивалентной жесткости.

Литература

1. Савицкий, Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения [Текст] / Г. А. Савицкий. – М. : Стройиздат, 1972. – 112 с.
2. Симиу, Э. Воздействие ветра на здания и сооружения [Текст] / Э. Симиу, Р. Сканиан ; Пер. с англ. Б. Е. Маслова, А. В. Швецовоной, [под ред. Б. Е. Маслова]. – М. : Стройиздат, 1984. – 360 с.

References

1. Savitskii, G. A. Wind Loads on Structures. Moscow: Stroizdat, 1972. 112 p. (in Russian)
2. Simiu, Emil; Scanlan, Robert H. A. Wind Loads on Buildings and Structures. Translated from English. B. E. Maslov (Ed.), A. V. Shvetsova. Moscow: Stroizdat, 1984. 360 p. (in Russian)

3. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра [Текст] / Центр науч.-исслед. ин-т строит. конструкций им. В. А. Кучеренко. – М. : Стройиздат, 1978. – 216 с.
4. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ» [Текст] / Міністерство палива та енергетики України. – К. : ОЕП «ГРІФРЕ», 2006. – 125 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
5. Пособие по проектированию стальных конструкций опор воздушных линий (ВЛ) электропередачи и открытых распределительных устройств (ОРУ) подстанций напряжением выше 1 кВ (к СНиП II-23-81*) [Текст] / Энергосетьпроект Минэнерго СССР. – М. : Центральный институт типового проектирования, 1989. – 72 с.
6. Городецкий, А. С. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – К. : Факт, 2005. – 344 с.
7. Крюков, К. П. Конструкции и механический расчёт линий электропередачи [Текст] / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. – [2-е изд.]. – Л. : Энергия, 1979. – 312 с.
8. Державні будівельні норми. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст] : ДБН В.1.2-2:2006. – Замість СНиП 2.01.07-85 ; надано чинності 2007-01-01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 61 с.
9. Справочник по проектированию линий электропередачи [Текст] / [под ред. С. С. Рокотяна и М. А. Реута]. – М. : Энергия, 1980. – 296 с.
10. Соколов, А. Г. Опоры линий передач (расчет и конструирование) [Текст] / А. Г. Соколов. – М. : Госстройиздат, 1961. – 171 с.
11. Алгоритмы расчёта стальных конструкций [Текст] / [Е. В. Горохов, В. Ф. Мушанов, А. М. Югов и др.]; под ред. Е. В. Горохова. – М. : Стройиздат, 1989. – 368 с.
12. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – К. : ВПП «SCAD», 2001. – 448 с.
13. Шевченко, Е. В. Совершенствование металлических конструкций опор воздушных линий электропередачи [Текст] / Е. В. Шевченко. – [2-е изд.]. – Макеевка : ДонГАСА, 1999. – 169 с.
14. Gorokhov, E. V. Durability of Steel Structures Under Reconstruction [Текст] / E. V. Gorokhov. – Rotterdam : Brookfield, 1999. – 297 p.
15. Lysmer, J. Dynamic Model for Infinite Medis [Текст] / J. Lysmer, R. Kuhlemeyer // Proc. ASCE. Journal Eng. Mechanics Division. – 1969. – Vol. 95, No. EM4. – P. 859–877.
16. Makoto, Ohsaki. Optimization of Finite Dimensional Structures [Текст] / Makoto Ohsaki. – Japan : CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. – 405 p.
17. Spillers, W. R. Geometric optimization using simple code representation [Текст] / W. R. Spillers and
3. Manual of Buildings and Constructions Analysis on Wind Effect. Moscow: Stroiizdat, 1978. 216 p. (in Russian)
4. Rules for electrical installation. Head 2.5 «The overhead power transmission lines voltages above 1 kV to 750 kV». Kyiv: OEP «GRIFRE», 2006. 125 p. (in Ukrainian)
5. Textbook of steel work designing of overhead transmission lines supports and outdoor switch-gear of substations with electric potential over 1 kV (to SNiP II-23-81* «Steel structures»). Moscow: Central Institute of Standard Design, 1989. 72 p. (in Russian)
6. Gorodetskii, A. S.; Evzerov, I. D. Computational Models of Constructions. Kyiv: Fakt, 2005. 344 p. (in Russian)
7. Kriukov, K. P.; Novgorodtsev, B. P. Construction and Mechanical Calculations of Transmission Lines. 2nd ed. Leningrad: Energiya, 1979. 312 p. (in Russian)
8. DBN B.1.2-2:2006. National Structural Rules and Regulations. The system of reliability and safety provision of constructional projects. Loads and effects. Kyiv: Minbud of Ukraine, 2006. 61 p. (in Ukrainian)
9. Rokotian, S. S. (Ed.); Reut, M. A. (Ed.). Reference book on Design of Transmission Lines. Moscow: Energiya, 1980. 296 p. (in Russian)
10. Sokolov, A. G. Transmission line supports (design and engineering). Moscow: Gosstroizdat, 1961. 171 p. (in Russian)
11. Gorokhov, Ye. V. (Ed.); Mushchanov, V.F.; Yugov, A. M. et al. Scheme of Structural Steel Design. Moscow: Stroiizdat, 1989. 368 p. (in Russian)
12. Perelmuter, A. V.; Slivker, V. I. Design models of structures and a possibility of their analysis. Kyiv: VPP «SCAD», 2001. 448 p. (in Russian)
13. Shevchenko, E. V. Development of Steel Structures of Transmission Lines Supports. 2nd ed. Makiivka: DNASEA, 1999. 169 p. (in Russian)
14. Gorokhov, E. V. Durability of Steel Structures Under Reconstruction. Rotterdam: Brookfield, 1999. 297 p.
15. Lysmer, J.; Kuhlemeyer, R. Dynamic Model for Infinite Medis. In: Proc. ASCE. Journal Eng. Mechanics Division, 1969, Vol. 95, No. EM4, p. 859–877.
16. Makoto, Ohsaki. Optimization of Finite Dimensional Structures. Japan: CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. 405 p.
17. Spillers, W. R.; Kountouris, G. Geometric optimization using simple code representation. In: J. of Str. Div, ASCE, 1980, Vol. 106, p. 959–970.
18. Friedland, L. R. Geometric structural behavior. Thesis presented. New York: Columbia University, 1971. 98 p.
19. Eurocode 1: Action on Structures. Part 1–4: General Actions – Wind Actions. Brussels: CEN TC 250, 2002. 155 p.
20. Spillers, W. R. Iterative design for optimal geometry. In: Journal of the Structural Division, ASCE, 1975, Vol. 101, p. 1435–1442.

- G. Kountouris // J. of Str. Div, ASCE. – 1980. – Vol. 106. – P. 959–970.
18. Friedland, L. R. Geometric structural behavior [Текст] : Thesis presented / L. R. Friedland. – New York : Columbia University, 1971. – 98 p.
19. Eurocode 1: Action on Structures. Part 1–4: General Actions – Wind Actions [Текст]. – Brussels : CEN TC 250, 2002. – 155 p.
20. Spillers, W. R. Iterative design for optimal geometry [Текст] / W. R. Spillers // Journal of the Structural Division, ASCE. – 1975. – Vol. 101. – P. 1435–1442.
21. Mishell, A. G. The limits of economy of materials in frame structures [Текст] / A. G. Mishell // Phil. Magazine. – 1904. – Vol. 8. – No. 47. – P. 589–595.
22. Dobbs, M. W. Optimization of truss geometry [Текст] / M. W. Dobbs and L. P. Felton // J. of Str. Div, ASCE. – 1969. – Vol. 95. – P. 2105–2118.
23. An evaluation of structural steel design systems for transmission and telecommunication towers [Текст] / J.G.S. da Silva, P.C.G da S. Vellasco, S.A.L. de Andrade, MLR. de Olivera // Proceedings of International IASS Symposium «Lightweight Structures in Civil Engineering – Contemporary Problems», Warsaw, Poland, 24–28 June, 2002 / Polish Chapter of International Association for Shell and Spatial Structures. – Warsaw : Micro-Publisher Jan B. Obrebski Wydawnictwo Naukowe, 2002. – P. 162–165.
21. Mishell, A. G. The limits of economy of materials in frame structures. In: *Phil. Magazine*, 1904, Vol. 8, No. 47, p. 589–595.
22. Dobbs, M. W.; Felton, L. P. Optimization of truss geometry. In: *J. of Str. Div., ASCE*, 1969, Vol. 95, p. 2105–2118.
23. J.G.S. da Silva; P.C.G da S. Vellasco; S.A.L. de Andrade; MLR. de Olivera. An evaluation of structural steel design systems for transmission and telecommunication towers. In: *Proceedings of International IASS Symposium «Lightweight Structures in Civil Engineering – Contemporary Problems», Warsaw, Poland, 24–28 June, 2002*. Warsaw: Micro-Publisher Jan B. Obrebski Wydawnictwo Naukowe, 2002, p. 162–165.

Танасогло Антон Володимирович – аспірант кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередачі і антенних опор.

Танасогло Антон Владимирович – аспірант кафедри металлических конструкцій Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор.

Anton Tanasoglo – a postgraduate of the Department «Metal Structures» of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interest: optimal design of overhead power transmission line and antenna supports.