



МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЙ БАГАТОГРАННИХ СТОЯКІВ З УРАХУВАННЯМ РЕГУЛЮВАННЯ ВЛАСНИХ ТА ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ

І. М. Гаранжа

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: garigo@mail.ru

Отримана 15 квітня 2013; прийнята 24 травня 2013.

Анотація. У статті наведена методика визначення геометричних параметрів конструкцій, що окремо стоять, багатогранних гнутих стояків (БГС), направлена на виключення можливості появи стану вітрового резонансу для різних районів будівництва. Наводиться загальний опис конструктивної форми БГС із вказівкою необхідних типорозмірів. Актуальність досліджень обумовлюється широкою сферою застосування металевих багатогранних стояків (особливо в електромережовому будівництві), а також необхідністю коректного визначення вітрового навантаження як визначальної напружено-деформований стан БГС. Описуються особливості процесу вітрового обтікання для циліндричних конструкцій залежно від числа Рейнольдса Re . Експериментально визначені основні критерії вихроутворення для БГС: частоти сходу вихрів $f_v = 30...40$ Гц, а також числа Струхала $S_h = 0,108...0,152$ для конструкцій з кількістю граней $n = 6, 8, 10$ і 12 . Встановлено залежність між вищезгаданими критеріями, кількістю граней n та швидкістю вітрового потоку V_i для багатогранних конструкцій, що окремо стоять.

Ключові слова: багатогранні гнуті стояки, вітрове навантаження, вихроутворення, вітровий резонанс, аеродинамічна труба, число Рейнольдса, число Струхала, частота сходу вихрів, швидке перетворення Фур'є.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИЙ МНОГОГРАННЫХ СТОЕК С УЧЕТОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ СОБСТВЕННЫХ И ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ

И. М. Гаранжа

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

E-mail: garigo@mail.ru

Получена 15 апреля 2013; принята 24 мая 2013.

Аннотация. В статье приведена методика определения геометрических параметров конструкций отдельно стоящих многогранных гнутых стоек (МГС), направленная на исключение возможности появления состояния ветрового резонанса для различных районов строительства. Приводится общее описание конструктивной формы МГС с указанием необходимых типоразмеров. Актуальность исследований обуславливается широкой сферой применения металлических многогранных конструкций (особенно в электросетевом строительстве), а также необходимостью корректного определения ветровой нагрузки как определяющей напряженно-деформированное состояние МГС. Описываются особенности процесса ветрового обтекания для цилиндрических конструкций в зависимости от числа Рейнольдса Re . Экспериментально определены основные критерии вихреобразования для МГС: частоты схода

вихрей $f_s = 30...40$ Гц, а также числа Струхала $Sh = 0,108...0,152$ для конструкций с количеством граней $n = 6, 8, 10$ и 12 . Установлена зависимость между вышеупомянутыми критериями, количеством граней n и скоростью ветрового потока V_i для свободностоящих многогранных конструкций.

Ключевые слова: многогранные гнутые стойки, ветровая нагрузка, вихреобразование, ветровой резонанс, аэродинамическая труба, число Рейнольдса, число Струхала, частота схода вихрей, быстрое преобразование Фурье.

PROCEDURE OF GEOMETRICAL PARAMETERS DEFINITION OF POLYGONAL POLES CONSTRUCTIONS TAKING INTO ACCOUNT REGULATION NATURAL AND FORCED OSCILLATIONS

Igor Garanzha

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

E-mail: garigo@mail.ru

Received 15 April 2013; accepted 24 May 2013.

Abstract. In this paper, technique for the determination of geometrical parameters of polygonal bent poles (PBP) of isolated structures is given and to intended to escape possibility situation of a wind resonance on different built-up territory. The main description of PBP constructive form is contains with indicating the necessary typically sizes. The broad scope application of PBP metal structures (especially noted application in power lines) is confirmed research relevance and in connection with this stress-strain state under the correct wind load. The peculiarities of the process wind-stream for cylindrical structures in different Reynolds number (Re) flow are described. The vortex wake mode criteria basic is experimentally determined for PBP: vortex shedding frequency ($f_s = 30...40$ Hz); Strouhal number ($Sh = 0,108...0,152$) at number of faces ($n = 6, 8, 10$ and 12). In the experiments have been established dependence between criteria Reynolds number, Strouhal number and number of faces, wind velocity (V) for isolated PBP structures.

Keywords: polygonal bent poles, wind load, vortex wake mode, wind resonance, wind tunnel, Reynolds number, Strouhal number, frequency of vortexes descent, fast Fourier transform.

Введение

В мировой практике опыт применения конструкций многогранных гнутых стоек (МГС) насчитывает около 40 лет. Данные конструкции широко используются как опоры ВЛ всех классов напряжений, въездные знаки, опоры наружного освещения улиц, парковых и промышленных зон, автомагистралей, как осветительные опоры спортивных сооружений, как теле-, радиовышки, как опоры контактной сети городского и железнодорожного транспорта и т. д. Велико многообразие конструктивных решений стоек и методов закрепления в грунте [1–9].

Стальные многогранные стойки представляют собой конические трубы коробчатого многогранного сечения, изготавливаемые изгибом стального листа с последующим свариванием его краев на ребре или грани. Высота стойки h дос-

тигает 80 м с толщиной стенки до 20 мм [1–9]. Диаметр в комле стойки d_k варьируется в пределах 250...3 000 мм, диаметр верха стойки d_k – в пределах 200...500 мм. Материал конструкции стойки принимается сталь марки не ниже С345.

Актуальность и цель исследований

Из всех возможных нагрузок ветровая нагрузка несомненно играет определяющую роль во влиянии на НДС конструкций МГС, особенно для одностоечных свободностоящих конструкций (опоры воздушных линий электропередачи (ВЛ), стойки мобильной связи, прожекторные башни, теле- и радиовышки, башни ветроэнергетических установок (ВЭУ) и т. д.) [1–8]. Следовательно, вопрос корректного определения ветровой нагрузки и учета возможных последствий её влияния, безусловно, является актуальным.

В данном случае под последствиями понимается возможность попадания конструкции МГС в состояние резонанса, которая заключается в принятии окончательных геометрических параметров башенных многогранных сооружений без учета эффекта схода вихрей, что в свою очередь приведет к негативным последствиям вплоть до полного разрушения конструкций. Поэтому основная цель исследований, описанных в данной статье, направлена на разработку методики определения геометрических параметров МГС, которая позволит путем учета эффекта образования и схода вихрей (ещё на этапе предварительного проектирования) избежать негативных резонансных последствий для одностоечных свободностоящих многогранных сооружений при строительстве в различных ветровых районах Украины и за ее пределами.

Задачи исследований

Основная цель исследований достигнута путем решения следующих задач:

- выполнения экспериментальных исследований характера ветрового воздействия на конструкции МГС с различным количеством граней n в аэродинамической трубе;
- определение основных критериев вихреобразования для конструкций МГС – частот схода вихрей и характерных чисел Струхала Sh в зависимости от количества граней n ;
- определение зависимости между критериями вихреобразования, геометрическими параметрами конструкций МГС и ветровым районом строительства.

Физическая суть процесса вихреобразования [15, 19, 20, 23, 28–31]

В классической аэродинамике плоская пластинка является эталоном обтекания без отрыва пограничного слоя направленным вдоль нее потоком. Такие тела называются «хорошо обтекаемые». Основным сопротивлением в этом случае является сопротивление трения. Иначе обстоит дело, если рассматривать обтекание с отрывом пограничного слоя, т. е. для «плохо обтекаемых тел». В этом случае основным видом сопротивления будет сопротивление давления, а силы трения будут играть второстепенную роль. Интересно отметить, что суммарное сопротив-

ление тела, обтекаемого с отрывом, резко падает при переходе пограничного слоя из ламинарного состояния в турбулентное. За эталон такого рода обтекания принимается обтекание шара, и к таким телам будем относить строительные конструкции с круговой цилиндрической поверхностью и изучаемые нами конструкции МГС.

Еще в первых опытах, проведенных в аэродинамических лабораториях по исследованию обтекания шара и цилиндра, было обнаружено так называемое явление кризиса сопротивления, заключающееся в падении лобового сопротивления при определенном числе Рейнольдса $Re_{кр}$, названное критическим. Кризис сопротивления объясняется переходом пограничного слоя из ламинарного состояния в турбулентное. На рис. 1 изображены особенности обтекания цилиндрических поверхностей при различных скоростях ветрового потока (числах Рейнольдса). При очень малых числах Рейнольдса ($Re < 10$) пограничный слой отчетливо не выделяется (он подразумевается как ламинарный), оставаясь присоединенным к поверхности цилиндрических тел. При $Re \approx 20$ поток сохраняется симметричным, но происходит отрыв потока и образование в спутной струе крупных вихрей, которые располагаются вблизи тыльной (относительно направления потока) поверхности цилиндра. При

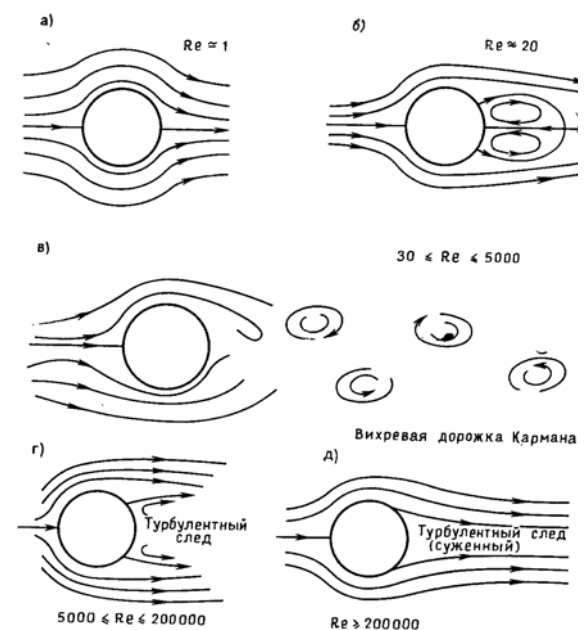


Рисунок 1. Особенности обтекания цилиндрических тел.

$30 \leq Re \leq 5\,000$ от цилиндра отрываются правильно чередующиеся вихри, которые образуют вниз по течению четко выраженную «вихревую дорожку», так называемую «дорожку Кармана». Более тонкие детали этого поразительно-го процесса до сих пор не изучены и продолжают оставаться в центре внимания многих теоретических и экспериментальных исследований.

При дальнейшем увеличении числа Рейнольдса до $5\,000 \leq Re \leq 20\,000$ перед точкой отрыва сохраняется безотрывное ламинарное обтекание. Для больших в этом интервале значений Re спутная струя позади цилиндра подвергается турбулизации уже непосредственно после отрыва потока и между находящимися на определенном расстоянии друг от друга слоями образуется турбулентный след. При превышении $Re \approx 20\,000$ спутная струя заметно суживается (что приводит к падению сопротивления тела) и срыв вихрей в гораздо большей степени представляется случайным эффектом.

Экспериментальное изучение ветрового воздействия на конструкции МГС

Основной предпосылкой для проведения аэродинамических исследований явился анализ су-

ществующей нормативной документации [10–12] и литературных источников [13, 14], предлагающих методики для определения ветровой нагрузки на конструкции МГС. В результате отмечены некоторые несовершенства данных методик. В связи с чем принято решение о необходимости экспериментального изучения ветрового воздействия на конструкции МГС.

Данный этап исследований проведен в аэродинамической трубе УТАД-2 Национального авиационного университета (НАУ, г. Киев), которая относится к классу аэротруб замкнутого типа с открытой рабочей частью.

Экспериментальные модели конструкций МГС представляют собой цилиндрические конструкции, выполненные из пластика с количеством граней $n = 6, 8, 10, 12$ и 18 . Высота $h = 300$ мм и диаметром $d = 100$ мм, постоянные для всех пяти моделей. Дренаж моделей выполнен на средней линии одной из граней, с количеством дренажных точек $n_d = 5$ для 6- и 8-гранных моделей и $n_d = 3$ для 10-, 12- и 18-гранных моделей. Пример дренажной схемы моделей МГС и их расположения в рабочей части УТАД-2 приведены на рис. 2 а, б.

Таким образом, модели МГС исследовались в постоянном ветровом потоке, при соответствую-

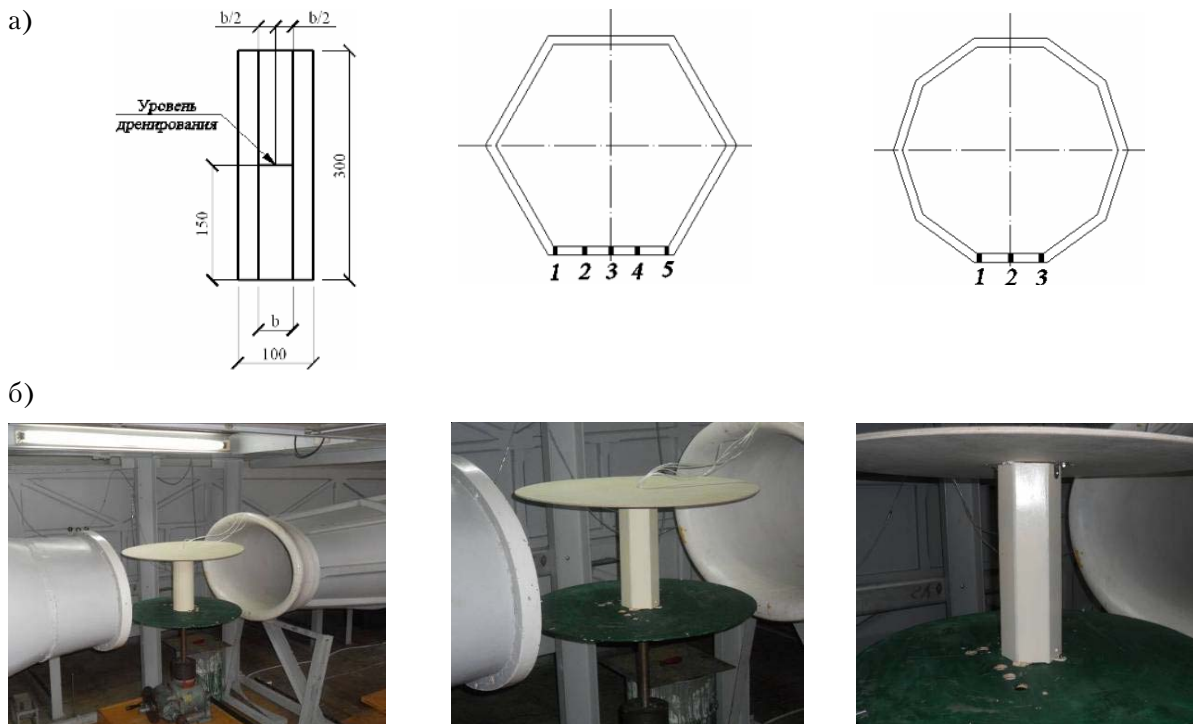


Рисунок 2. Экспериментальные модели МГС: а) схема дренажирования; б) расположение моделей в рабочей части УТАД-2.

ющих экспериментальных скоростях V^n , в диапазоне азимутов $\beta = 0 \dots 180^\circ$ ($\Delta\beta = 10^\circ$). При каждом положении модели с соответствующим значением β датчиками давления фиксировались 750 мгновенных значений локального ветрового давления в точке P_i в период времени $t = 4$ с.

Определение основных критериев вихреобразования для конструкций МГС

В экспериментальной аэродинамике существуют так называемые «хорошо обтекаемые» тела (происходит обтекание без отрыва пограничного слоя) и «плохо обтекаемые» тела (обтекание с отрывом пограничного слоя) [15–23, 28–32]. Ко вторым можно отнести многогранные гнутые стойки, обтекаемость которых определяется таким параметром, как число Струхалия. Число Струхалия Sh – безразмерная величина, один из критериев подобия нестационарных течений жидкостей и газов, характеризующий постоянство протекания процессов во времени (срыва ветрового потока). Одна из формул, описывающих число Струхалия для конструкций вращения (1):

$$Sh = \frac{f \cdot d}{V} \quad (1),$$

где V – скорость ветрового потока в закритической области сопротивления стойки;
 f – частота схода вихрей;
 d – диаметр стойки.

Для определения числа Струхалия для исследуемых многогранных стоек использована математическая методика разложения Фурье (быстрое преобразование Фурье) [24–26].

Быстрое преобразование Фурье (БПФ) – это алгоритм вычисления преобразования Фурье для дискретного случая. В нашем случае, имея конечную последовательность $x_0, x_1, x_2, \dots, x_{N-1}$, где x_i – локальное давление ветра в дренажной точке экспериментальной модели, дискретное преобразование Фурье заключается в поиске другой последовательности $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{N-1}$, элементы которой вычисляются по формуле (2):

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j \frac{2\pi kn}{N}} \quad (2),$$

где $e^{-j \frac{2\pi kn}{N}}$ – поворачивающий множитель.

Получена конечная последовательность $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{N-1}$. Обратное дискретное преобразование Фурье (ДПФ) заключается в поиске другой последовательности $x_0, x_1, x_2, \dots, x_{N-1}$ элементы которой вычисляются по формуле (3):

$$X_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{j \frac{2\pi kn}{N}} \quad (3).$$

В нашем случае быстрое преобразование Фурье применено для ряда данных о давлении ветра в характерных точках (полученных экспериментальным путем в УТАД-2), основная цель выполнения которого – определение характерной частоты схода вихрей F_v , Гц для конструкций моделей МГС.

На основании данных, полученных после БПФ, построены амплитудо – частотные характеристики (АЧХ) по каждой модели МГС и определены характерные частоты схода вихрей F . Данный параметр является средним значением частот f_i в зоне максимальных значений амплитуды в исследуемых точках в определенном диапазоне ветровых азимутов β (4):

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{f}_{i\beta}}{n} \quad (4),$$

где $\bar{f}_{i\beta}$ – среднее значение частот схода вихрей при максимальных амплитудах в исследуемых точках (i – номер точки, β – ветровой азимут).

АЧХ для всех моделей МГС (по i -м точкам) приведены на рис. 3.

Получены следующие значения частот схода вихрей для МГС:

- 6 граней $\rightarrow F_6 = 37,5$ Гц;
- 8 граней $\rightarrow F_8 = 36$ Гц;
- 10 граней $\rightarrow F_{10} = 40$ Гц;
- 12 граней $\rightarrow F_{12} = 30$ Гц.

Анализ АЧХ для 18-гранной модели стойки показал, что для данной конструкции в экспериментальных скоростных режимах эффект схода вихрей обнаружен не был. Об этом говорит отсутствие на графиках амплитудных всплесков (рис. 3), что в свою очередь не дает возможности определить характерную частоту схода вихрей со стойки. Поэтому конструкция 18-гранного сечения исключена из дальнейших исследований.

На основании полученных частот F определены числа Струхалия Sh для четырех типов сечений конструкций МГС:

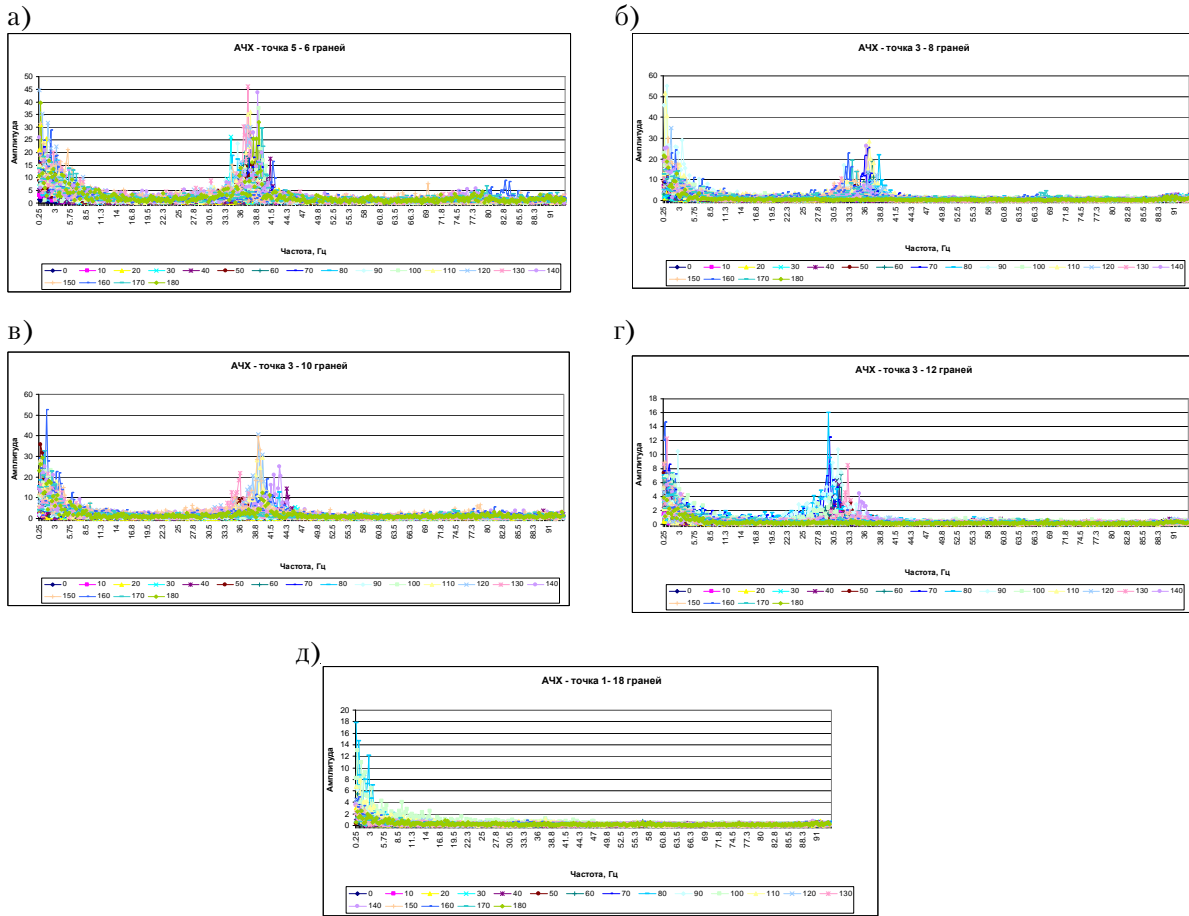


Рисунок 3. АЧХ для моделей МГС с количеством граней: а) 6; б) 8; в) 10; г) 12; д) 18.

- 6 граней → $Sh = 0,108$;
- 8 граней → $Sh = 0,119$;
- 10 граней → $Sh = 0,133$;
- 12 граней → $Sh = 0,152$.

Для стоек с количеством граней $n = 18$ и более следует полагать, что значение $Sh \rightarrow 0,18$, так как число Струхала является функцией числа Рейнольдса Re , и в диапазоне $200 < Re < 200\ 000$ действует эмпирический закон его постоянства, следовательно, $Sh \approx 0,18$ [15–23].

Так как строительство конструкций на основе МГС возможно по всей территории Украины, то необходимо установить зависимость геометрических параметров поперечного сечения стоек (в частности диаметров стойки d) от максимальных скоростей ветра во всех ветровых районах, чисел Струхала Sh и частот вынужденных колебаний конструкций, которые соответствуют частотам схода вихрей f_{θ} [13–21, 26–30]. Данная зависимость записана в виде выражения (5):

$$d_{cm} = f(V_{max}^i; f_{\theta}; Sh) \quad (5).$$

Анализируя взаимосвязь выражений (1) и (5), определяем частоту схода вихрей для натуральных конструкций МГС (6):

$$f_{\theta} = \frac{V_{max}^i \cdot Sh_n}{d_{cm}} \quad (6),$$

где V_{max}^i – максимальная скорость ветра, соответствующая i -му ветровому району (i – номер ветрового района);

Sh_n – число Струхала стойки с количеством граней n ;

d_{cm} – диаметр верха стойки.

Диаметр верха стойки d_{cm} принят в рассмотрение из основной геометрической особенности конструкции МГС – конусообразности. Тот факт, что частота вынужденных колебаний МГС (частота схода вихрей) f_{θ} увеличивается по высоте стойки, дает возможность утверждать, что максимальная необходимая частота $f_{\theta, max}$ наступает в месте минимального диаметра стойки $d_{cm, min}$.

Суть методики контроля геометрических параметров сечения стойки состоит в ограничении значений диаметров стоек из условия их непопадания в зону резонанса, т. е. несовпадения минимальных значений частот собственных колебаний конструкции $f_{собств.}^{min}$ по всем формам колебаний и частот схода вихрей f_e . Условие непопадания конструкций МГС в зону резонанса записано в виде выражения (7):

$$f_{собств.} > f_e \quad (7).$$

При несоблюдении вышеупомянутого условия, т. е. $f_{собств.} < f_e$, возможно возникновение ситуации, при которой скорость ветра V_i будет таковой, что значения частот собственных коле-

баний МГС и частота схода вихрей будут равны ($f_{собств.} = f_e$), в результате чего наступит состояние резонанса.

Общая схема методики назначения геометрических параметров МГС приведена на рис. 4.

В качестве основного вывода о результатах проведенных исследований следует отметить полученную методику определения геометрических параметров МГС, которая с учетом характеристик ветрового района строительства и особенностей конструктивной формы исследуемых сооружений позволит избежать их попадания в состояние ветрового резонанса ещё на этапе предварительного проектирования.

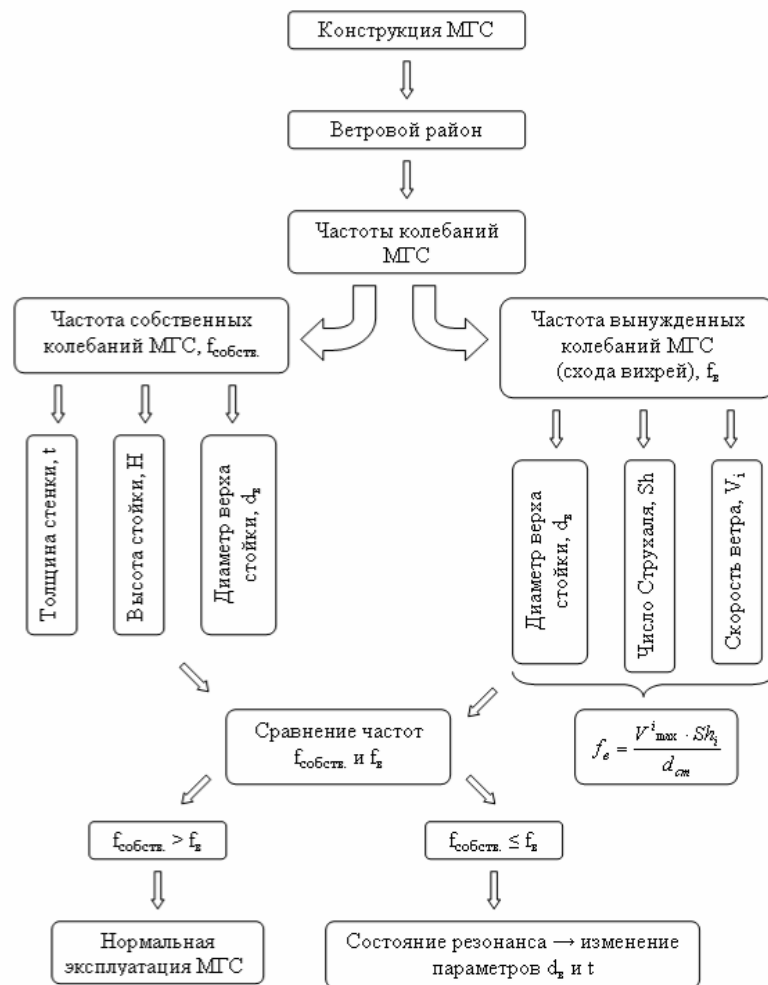


Рисунок 4. Методика определения геометрических параметров МГС в соответствии с ветровым районом строительства.

Литература

1. Многогранные гнутые стойки [Текст] : материалы I международной конференции (Николаевка-Кременец, 2006 г.). Часть I / Открытое акционерное общество «ПРОМиК». – Днепропетровск : [б. и.], 2006. – 144 с.
2. Многогранные гнутые стойки [Текст] : материалы II международной конференции, (Николаевка, 2007 г.) / Открытое акционерное общество «ПРОМиК». – Днепропетровск : [б. и.], 2007. – 312 с.
3. Многогранные гнутые стойки [Текст] : материалы III международной конференции, (Николаевка, 2008 г.) / Открытое акционерное общество «ПРОМиК». – Днепропетровск : [б. и.], 2008. – 304 с.
4. Многогранные гнутые стойки [Текст] : материалы IV международной конференции, (Николаевка-Кременец, 2009 г.) / Открытое акционерное общество «ПРОМиК». – Днепропетровск : [б. и.], 2009. – 196 с.
5. Многогранные гнутые стойки [Текст] : материалы V международной конференции, (Николаевка-Кременец, 2010 г.) / Открытое акционерное общество «ПРОМиК». – Днепропетровск : [б. и.], 2010. – 280 с.
6. Многогранные гнутые стойки [Текст] : материалы VI международной конференции, (Николаевка-Кременец, 2011 г.) / Открытое акционерное общество «ПРОМиК». – Днепропетровск : [б. и.], 2011. – 154 с.
7. Гаранжа, И. М. Эффективность применения многогранных гнутых стоек для опор воздушных линий электропередачи в условиях современной Украины [Текст] / И. М. Гаранжа, В. Н. Васылев // Металеві конструкції. – 2008. – Т. 14, № 3. – С. 163–168.
8. Гаранжа, И. М. Напряжено-деформований стан металевих багатограних стояків з урахуванням особливостей вітрового впливу [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Гаранжа Ігор Михайлович ; Донбаська національна академія будівництва і архітектури. – Макіївка, 2012. – 20 с. : іл., табл. – Бібліогр.: с. 17–18.
9. Разработка новых конструкций опор ВЛ из гнутых металлических профилей нетрадиционных форм [Текст] / Ю. Р. Гунгер, И. Р. Пивчик, Е. Г. Хромов, Ю. В. Демин // Электрические станции. – 2003. – № 3. – С. 48–50.
10. ДБН В.1.2-2:2006. Державні будівельні норми. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст]. – Замість СНиП 2.01.07-85 ; надано чинності 2007-01-01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 61 с.
11. СНиП 2.01.07-85*. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия [Текст]. – Взамен главы СНиП II-6-74 ; введ. 1987-01-01. – М. : ФГУП ЦПП, 2005. – 44 с.

References

1. Many-sided Bent Racks: Proceedings of the 1st International Conference (Nikolayevka-Kremenets, 2006). Part I. Dnepropetrovsk: [S. l.], 2006. 144 p. (in Russian)
2. Many-sided Bent Racks Papers of the 2nd International Conference, (Nikolayevka, 2007). Dnepropetrovsk: [S. l.], 2007. 312 p. (in Russian)
3. Many-sided Bent Racks: Proceedings of the 3rd International Conference, (Nikolayevka, 2008). Dnepropetrovsk: [S. l.], 2008. 304 p. (in Russian)
4. Many-sided Bent Racks: Proceedings of the 4th International Conference, (Nikolayevka-Kremenets, 2009). Dnepropetrovsk: [S. l.], 2009. 196 p. (in Russian)
5. Many-sided Bent Racks: Proceedings of the 5th International Conference, (Nikolayevka-Kremenets, 2010). Dnepropetrovsk: [S. l.], 2010. 280 p. (in Russian)
6. Many-sided Bent Racks: Proceedings of the 6th International Conference, (Nikolayevka-Kremenets, 2011). Dnepropetrovsk: [S. l.], 2011. 154 p. (in Russian)
7. Garanzha, I. M.; Vasylev, V. N. Efficiency of using many-sided bent frames for overhead power line towers (OPL) in Ukraine today. In: *Metal Constructions*, Volume 14, Number 3, p. 163–168. (in Russian)
8. Garanzha, I. M. Strain-stress behavior of metal multifaceted down gates taking into account characteristic properties of air influence: Authors abstract in Engineering Science, Speciality building structures, buildings and constructions. Makiivka, 2012. 20 p. (in Ukrainian)
9. Gunger, Yu. R.; Pivchik, I. R.; Hromov, E. G.; Demin, Yu. V. Development of advanced constructions, bearing supports from bent metal profiles of non-conventional form. In: *Electric power plant*, 2003, Number 3, p. 48–50. (in Russian)
10. 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)
11. SNiP 2.01.07-85*. Construction rules and regulations. Loads and effects. Moscow: FGUP TsPP, 2005. 44 p. (in Russian)
12. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1–4: General actions – Wind actions. – Ref. No. EN 1991-1-4:2005 (E). Brussels: CEN, 2005. 146 p.
13. Manual of Buildings and Constructions Analyses on Wind Effect. Moscow: Stroizdat, 1978. 217 p. (in Russian)
14. Berezin, M. A.; Katjushin, V. V. Atlas of Aerodynamic Characteristics of Buildings and Structures. Novosibirsk: Olden-poligrafia, 2003. 130 p. (in Russian)
15. Krasnov, N. F. Aerodynamics of Bodies of Rotation. Moscow: Mashinostroenie, 1964. 572 p. (in Russian)

12. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1–4: General actions – Wind actions [Текст]. – Ref. No. EN 1991-1-4:2005 (E). – Brussels : CEN, 2005. – 146 p.
13. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра [Текст] / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М. : Стройиздат, 1978. – 217 с.
14. Березин, М. А. Атлас аэродинамических характеристик строительных конструкций [Текст] / М. А. Березин, В. В. Катюшин. – Новосибирск : Олден-полиграфия, 2003. – 130 с.
15. Краснов, Н. Ф. Аэродинамика тел вращения [Текст] / Н. Ф. Краснов. – М. : Машиностроение, 1964. – 572 с.
16. Савицкий, Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения [Текст] / Г. А. Савицкий. – М. : Стройиздат, 1972. – 233 с.
17. Горлин, С. М. Экспериментальная аэромеханика [Текст] : [учебное пособие для вузов] / С. М. Горлин. – М. : Высшая школа, 1970. – 423 с.
18. Аэродинамика электросетевых конструкций [Текст] : Монография / [Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. Н. Шаповалов, Я. В. Назим] ; под ред. Е. В. Горохова, М. И. Казакевича. – Донецк : [б. и.], 2000. – 336 с.
19. Бычков, Н. М. Аэродинамические характеристики кругового цилиндра в поперечном потоке [Текст] / Н. М. Бычков, В. М. Коваленко // Известия АН СССР, Сибирское отделение. Серия тех. наук. – 1980. – № 8, вып. 2. – С. 29–44.
20. Казакевич, М. И. Вихревое возбуждение аэроупругих колебаний цилиндрического тела произвольного сечения [Текст] / М. И. Казакевич, А. Н. Василенко // Известия АН Литвы. Энергетика. – 1991. – № 1(15). – С. 72–80.
21. Блюмина, Л. Х. Колебания цилиндрических тел в ветровом потоке [Текст] / Л. Х. Блюмина, Ю. Г. Захаров // Исследования по динамике сооружений : Сборник статей / Академия строительства и архитектуры СССР, Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций ; под редакцией д-ра техн. наук проф. Б. Г. Коренева. – М. : Стройиздат, 1957. – С. 44–60.
22. Мхитарян, А. М. Аэродинамика [Текст] / А. М. Мхитарян. – М. : Машиностроение, 1976. – 448 с.
23. Симиу, Э. Воздействия ветра на здания и сооружения [Текст] / Э. Симиу, Р. Сканлан; [перевод с английского Б. Е. Маслова, А. В. Шевцовой]; под редакцией Б. Е. Маслова. – М. : Стройиздат, 1984. – 360 с.
24. Bracewell, Ronald N. The Fourier Transform and its Applications [Текст] / Ronald N. Bracewell. – 3 edition. – Singapore : McGraw-Hill Book Company, 1999. – 496 p. – ISBN 0-07-116043-4.
25. Herviel, John. Joseph Fourier: the Man and the Physicist [Текст] / John Herviel. – Bristol : Clarendon Press, 1975. – 123 p.
26. Высокопроизводительные дискретные преобразования Фурье на графических процессорах [Текст] /
16. Savitskii, G. A. Wind Load on Structures. Moscow: Stroizdat, 1972. 233 p. (in Russian)
17. Gorlin, S. M. Experimental Aeromechanics. Textbook. Moscow: Vysshaia shkola, 1970. 423 p. (in Russian)
18. Gorokhov, Ye. V.; Kazakevich, M. I.; Shapovalov, S. N.; Nazim, Ya. V. Ed.: Ye. V. Gorokhov, M. I. Kazakevich. Aerodynamics of the power supply structures. Monograph. Donetsk, 2000. 336 p. (in Russian)
19. Bychkov, N. M.; Kovalenko, V. M. Aerodynamic Characteristics of Circular Cylinder in Cross Flux. In: *News of the Academy of Sciences of the USSR, Siberian Department. Engineering Sciences*, 1980, Number 8, issue 2, p. 29–44. (in Russian)
20. Kazakevich, M. I.; Vasilenko, A. N. Vortex Excitation of Aeroelastic Vibrations of Cylindrical Solid of Random Section. In: *News of the Academy of Sciences of Lithuania. Power Engineering*, 1991, Number 1(15), p. 72–80. (in Russian)
21. Bliumina, L. H.; Zaharov, Yu. G. Oscillations of Cylindrical Solids in Wind Flow. In: *Structural Dynamics Analyses*. Moscow: Stroizdat, 1957. p. 44–60. (in Russian)
22. Mhitarian, A. M. Aerodynamics. Moscow: Mashinostroenie, 1976. 448 p. (in Russian)
23. Simiu, E.; Skanlan, R. Wind Effects on Buildings and Structures. Moscow: Stroizdat, 1984. 360 p. (in Russian)
24. Bracewell, Ronald N. The Fourier Transform and its Applications. 3 edition. Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1999. 496 p. ISBN 0-07-116043-4.
25. Herviel, John. Joseph Fourier: the Man and the Physicist. Bristol: Clarendon Press, 1975. 123 p.
26. Govidaraiu, N.; Lloid, B.; Dotsenko, Yu.; Smit, B.; Manfredelli, D. Effective Discrete Fourier Transformation on Graphic Processors. Moscow: Nauka, 2001. 298 p. (in Russian)
27. Voevodin, V. V. Computing Mathematics and Algorithm Structure. Moscow: MGU, 2006. 112 p. (in Russian)
28. Dyrbye, C. Wind loads on structures. New York: John Wiley & Sons, 1999. 229 p.
29. Holmes, J. D. Wind loading of structures. Great Britain: Eastbourne, 2005. 356 p.
30. Lawson, T. Building aerodynamics. London: Imperial College Press, 2001. 286 p.
31. Fung, Y. C. Fluctuating lift and drag action on a cylinder in a flow at supercritical Reynolds numbers. In: *Journal of Aerospace Science*, 1960, V. 27, p. 801–814.
32. Roshko, A. Experiment of the flow past a circular cylinder at very high Reynolds numbers. In: *Journal of Fluid. Mech.*, 1961, V. 10, p. 345–356.

- Н. Говидараю, Б. Ллойд, Ю. Доценко [и др.]. – М. : Наука, 2001. – 298 с.
27. Воеводин, В. В. Вычислительная математика и структура алгоритмов [Текст] / В. В. Воеводин. – М. : МГУ, 2006. – 112 с.
28. Dyrbye, C. Wind loads on structures [Текст] / C. Dyrbye. – New York : John Wiley & Sons, 1999. – 229 p.
29. Holmes, J. D. Wind loading of structures [Текст] / J. D. Holmes. – Great Britain : Eastbourne, 2005. – 356 p.
30. Lawson, T. Building aerodynamics [Текст] / T. Lawson. – London : Imperial College Press, 2001. – 286 p.
31. Fung, Y. C. Fluctuating lift and drag action on a cylinder in a flow at supercritical Reynolds numbers [Текст] / Y. C. Fung // Journal of Aerospace Science. – 1960. – V. 27. – P. 801–814.
32. Roshko, A. Experiment of the flow past a circular cylinder at very high Reynolds numbers [Текст] / A. Roshko // Journal of Fluid. Mech. – 1961. – V. 10. – P. 345–356.

Гаранжа Ігор Михайлович – к.т.н.; доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи металевих ґратчастих, багатогранних листових та трубобетонних опор повітряних ліній електропередавання (ПЛ), створення нових конструктивних рішень опор ПЛ з використанням нових технологій і матеріалів, кліматичні навантаження на ПЛ.

Гаранжа Игорь Михайлович – к.т.н.; доцент кафедры металлических конструкции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение действительной работы металлических решетчатых, многогранных листовых и трубобетонных опор воздушных линий электропередачи (ВЛ), создание новых конструктивных решений опор ВЛ с применением прогрессивных технологий и материалов, климатические нагрузки на ВЛ.

Igor Garanzha – Ph.D. (Eng.); Associate Professor of Steel Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of the valid work steel trellised, polygonal and composite supports of overhead power lines (OHPL), creation new constructive decisions of OHPL supports with application progressive technologies and materials, climatic loadings on OHPL.