



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ  
METAL CONSTRUCTIONS**

2012, ТОМ 18, НОМЕР 2, 85–96

УДК УДК 624.014:624.97

(12)-0261-1

## **МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЙ ВІЛЬНО СТОЯЧИХ БАГАТОГРАННИХ СТОЯКІВ З УРАХУВАННЯМ РЕГУЛЮВАННЯ ВЛАСНИХ ТА ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ**

**Є. В. Горохов<sup>a</sup>, В. М. Василев<sup>a</sup>, С. Г. Кузнецов<sup>a</sup>, І. М. Гаранжа<sup>a</sup>, Е. О. Лозинський<sup>a</sup>,  
Р. Н. Павловський<sup>b</sup>, О. Г. Щербонос<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.

E-mail: mailbox@donnasa.edu.ua

<sup>b</sup> Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058.

E-mail: aerodyn@nau.edu.ua

Отримана 31 січня 2012; прийнята 27 квітня 2012.

**Анотація.** У статті наведена методика призначення геометричних параметрів конструкцій окремо стоячих багатограних 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 багатограних стояків (особливо в електромережовому будівництві), а також необхідністю коректного визначення вітрового навантаження, як визначаючого 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  $Sh = 0,108...0,152$  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 окремо стоячих багатограних конструкцій.

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

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

**Е. В. Горохов<sup>a</sup>, В. Н. Васылев<sup>a</sup>, С. Г. Кузнецов<sup>a</sup>, И. М. Гаранжа<sup>a</sup>, Э. А. Лозинский<sup>a</sup>,  
Р. Н. Павловский<sup>b</sup>, А. Г. Щербонос<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.

E-mail: mailbox@donnasa.edu.ua

<sup>b</sup> Национальный авиационный университет, пр. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, Украина, 03058.

E-mail: aerodyn@nau.edu.ua

Получена 31 января 2012; принята 27 апреля 2012.

**Аннотация.** В статье приведена методика определения геометрических параметров конструкций отдельностоящих 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  $f_v = 30...40$  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 DEFINITION OF GEOMETRICAL PARAMETERS CONSTRUCTIONS OF SELF-SUPPORTING POLYGONAL POLES TAKING INTO ACCOUNT REGULATION NATURAL AND FORCED OSCILLATIONS

Yevgen Gorokhov<sup>a</sup>, Volodymyr Vasylev<sup>a</sup>, Sergey Kuznetsov<sup>a</sup>, Igor Garanzha<sup>a</sup>,  
Eduard Lozinsky<sup>a</sup>, Roman Pavlovsky<sup>b</sup>, Alexandr Shcherbonos<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

E-mail: mailbox@donnasa.edu.ua

<sup>b</sup> National Aviation University,  
1, Kosmonavta Komarova Ave., Kiev, Ukraine, 03058.  
E-mail: aerodyn@nau.edu.ua

Received 31 January 2012; accepted 27 April 2012.

**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 ( $f_v = 30...40$  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 ( $V_i$ ) for isolated PBP structures.

**Keywords:** polygonal bent poles, wind load, vortex wake mode, wind resonance, wind tunnel, Reynolds number, Strouhal number, vortex shedding frequency, 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 клас-

сов напряжений, въездные знаки, опоры наружного освещения улиц, парковых и промышленных зон, автомагистралей, как осветительные опоры спортивных сооружений, как теле-, радио-вышки, как опоры контактной сети городского и

железнодорожного транспорта и т. д. Великообразие конструктивных решений стоек и методов закрепления в грунте [1–7].

Стальные многогранные стойки представляют собой конические трубы коробчатого многогранного сечения, изготавливаемые изгибом стального листа с последующим свариванием его краев на ребре или грани (рис. 1). Высота стойки  $h$  достигает 80 м с толщиной стенки до 20 мм [1–3]. Диаметр в комле стойки  $d_k$  варьируется в пределах 250...3 000 мм, диаметр верха стойки  $d_v$  – в пределах 200...500 мм. Материал конструкции стойки принимается сталь марки не ниже С345. Конструкции опор на основе МГС приведены на рис. 1.

### 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 (стойки мобильной связи, прожекторные башни, теле- и радиовышки, башни ВЭУ и т. д.) [1–3]. 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 назначения 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:

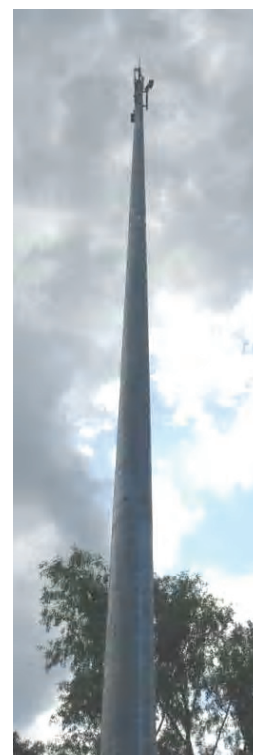
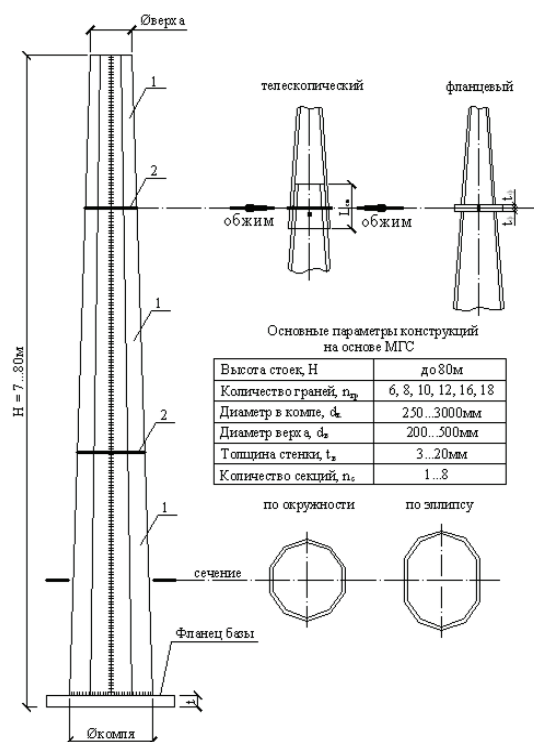


Рисунок 1. Стальные многогранные стойки башенного типа.

- выполнение 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.

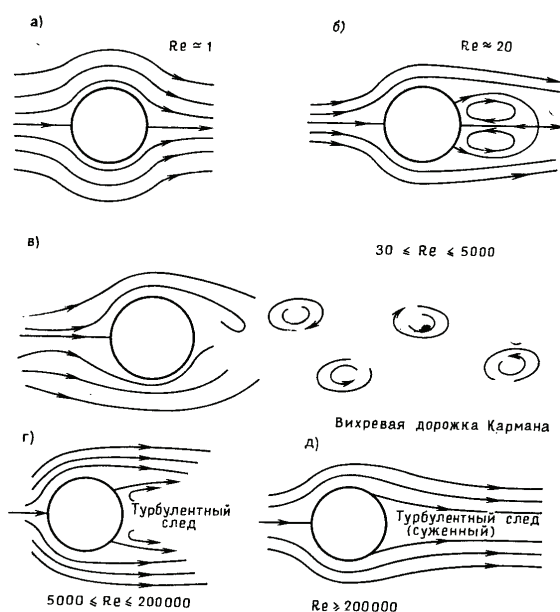
### Физическая суть процесса вихреобразования [13, 17, 18, 21, 26–29]

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 сопротивление 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. 2 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  $30 \leq Re \leq 5\,000$  от цилиндра отрываются правильно чередующиеся вихри, которые образуют вниз по течению четко выраженную «вихревую дорожку», так называемую «дорожку Кармана». Более тонкие детали этого поразительного процесса до сих пор не изучены и продолжают оставаться в центре внимания многих теоретических и экспериментальных исследований.

При дальнейшем увеличении числа Рейнольдса до  $5\,000 \leq Re \leq 200\,000$  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  $Re \approx 200\,000$  спутная струя заметно суживается (что приводит к падению



**Рисунок 2.** Особенности обтекания цилиндрических тел.

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 существующей нормативной документации [8–10] и литературных источников [11, 12], 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

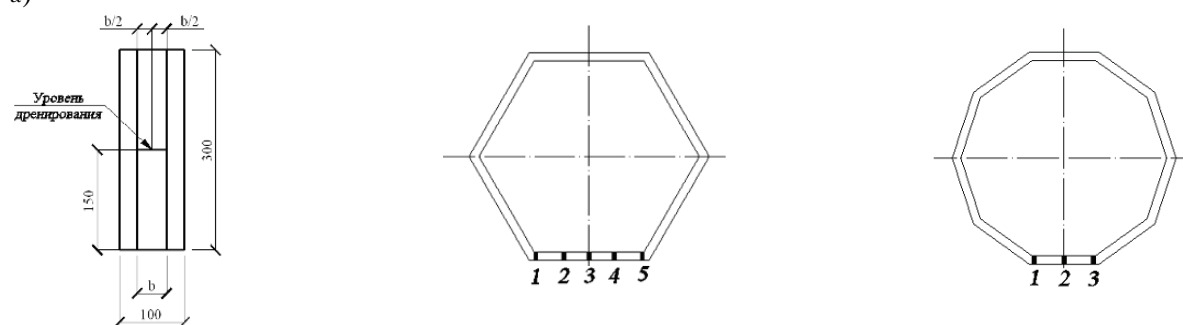
граней  $n = 6, 8, 10, 12$  и  $18$ . Высота  $h = 300$  мм и диаметром  $d = 100$  мм, постоянные для всех пяти моделей. Дренаж моделей выполнен на средней линии одной из граней, с количеством дренажных точек  $n_d = 5$  для 6- и 8-гранных моделей и  $n_d = 3$  для 10-, 12- и 18-гранных моделей. Пример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

Таким образом, модели МГС исследовались в постоянном ветровом потоке, при соответствующих экспериментальных скоростях  $V_s^i$ , в диапазоне азимутов  $\beta = 0 \dots 180^\circ$  ( $\Delta\beta = 10^\circ$ ). При каждом положении модели с соответствующим значением  $\beta$  датчиками давления фиксировалось 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) [13–21, 26–30].

а)



б)



Рисунок 3. Экспериментальные модели МГС: а) схема дренажирования, б) расположение моделей МГС в УТАД-2.

Ко вторым можно отнести многогранные гнутые стойки, обтекаемость которых определяется таким параметром, как число Струхала. Число Струхала  $Sh$  – 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 Струхала для конструкций вращения:

$$Sh = \frac{f \cdot d}{V},$$

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

Для определения числа Струхала для исследуемых многогранных стоек использована математическая методика разложения Фурье (быстрое преобразование Фурье) [22–25].

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:

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

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:

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

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  $F$ , Гц для конструкций моделей МГС.

На основании данных, полученных после БПФ, построены амплитудно-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  $\beta$ :

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

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

АЧХ для всех моделей МГС (по  $i$ -м точкам) приведены на рис. 4.

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. 4), 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 Струхала  $Sh$  для четырех типов сечений конструкций МГС:

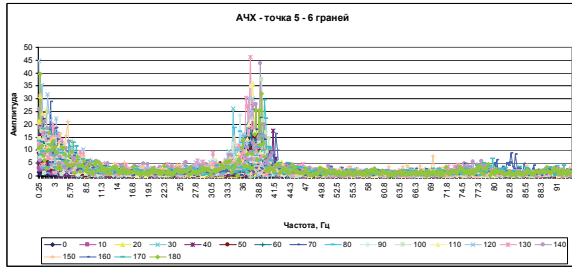
- 6 граней  $\rightarrow Sh = 0,108$ ;
- 8 граней  $\rightarrow Sh = 0,119$ ;
- 10 граней  $\rightarrow Sh = 0,133$ ;
- 12 граней  $\rightarrow Sh = 0,152$ .

Для стоек с количеством граней  $n = 18$  и более следует предполагать, что значение  $Sh \rightarrow 0,18$ , т. к. число Струхала является функцией числа Рейнольдса  $Re$ , и в диапазоне  $200 < Re < 200\,000$  действует эмпирический закон его постоянства, т. е.  $Sh \approx 0,18$  [13–21].

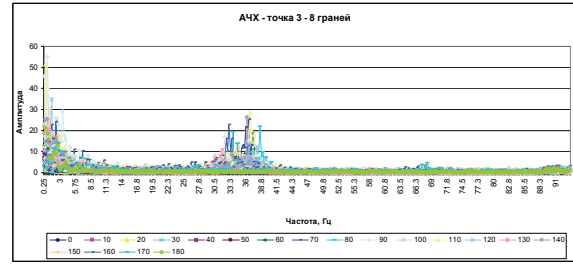
Так как строительство конструкций на основе МГС возможно по всей территории Украины, то необходимо установить зависимость



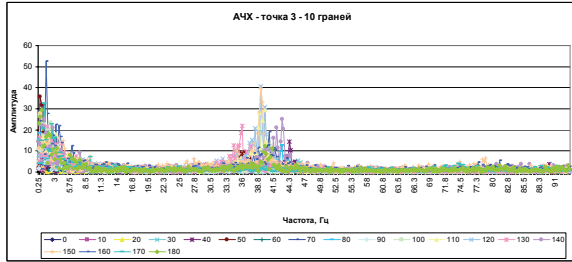
а)



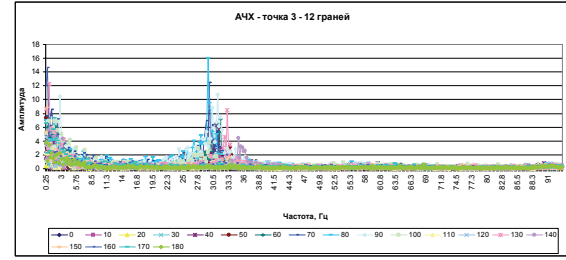
б)



в)



г)



д)

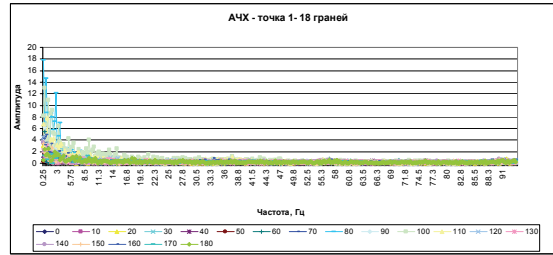


Рисунок 4. АЧХ для моделей МГС с количеством граней: а) 6; б) 8; в) 10; г) 12; д) 18.

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  $f_\theta$  [13–21, 26–30]. Данная зависимость записана в виде выражения:

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

Анализируя взаимосвязь выражений (4.13) и (4.17) определяем частоту схода вихрей для натуральных конструкций МГС (4.18):

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

где  $V_{\max}^i$  – максимальная скорость ветра, соответствующая  $i$ -му ветровому району ( $i$  – номер ветрового района);  $Sh_n$  – число Струхала стой-

ки 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)  $f_\theta$  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  $f_{\text{собст.}}^{\min}$  по всем формам колебаний и частот схода вихрей  $f_\theta$ .

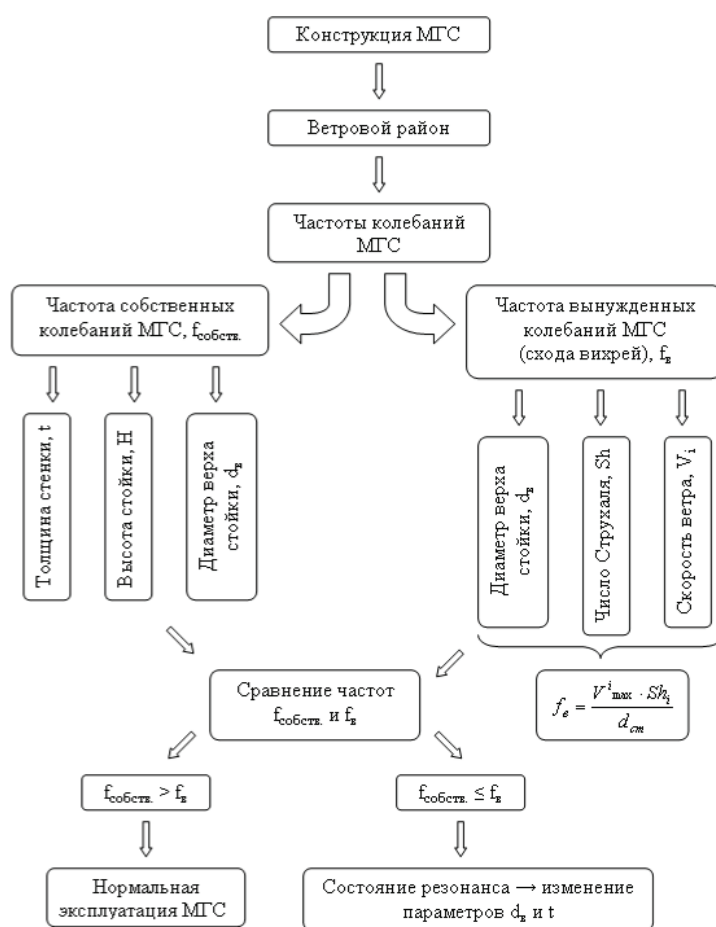
Условие непопадания конструкций МГС в зону резонанса записано в виде выражения:

$$f_{\text{собств.}} > f_{\text{в.}}$$

При несоблюдении вышеупомянутого условия, т. е.  $f_{\text{собств.}} < f_{\text{в.}}$ , возможно возникновение ситуации, при которой скорость ветра  $V_i$  будет таковой, что значения частот собственных колебаний МГС и частота схода вихрей будут равны ( $f_{\text{собств.}} = f_{\text{в.}}$ ), в результате чего наступит состояние резонанса.

Общая схема методики назначения геометрических параметров МГС приведена на рис. 5.

В качестве основного вывода о результатах проведенных исследований следует отметить полученную методику назначения 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 5.** Методика назначения 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.

## References

1. Many-sided Bent Racks: Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference (Nikolayevka–Kremenets, 2006). Part I. Dnepropetrovsk: [S. l.], 2006. 144 p. (in Russian)
2. Many-sided Bent Racks Papers of the 2<sup>nd</sup> International Conference, (Nikolayevka, 2007).



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. Гунгер, Ю. Р. Разработка новых конструкций опор ВЛ из гнутых металлических профилей нетрадиционных форм [Текст] / Ю. Р. Гунгер, И. Р. Пивчик // Электрические станции. – 2003. – № 3. – С. 48–50.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра [Текст] / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М. : Стройиздат, 1978. – 217 с.
12. Березин, М. А. Атлас аэродинамических характеристик строительных конструкций [Текст] / М. А. Березин, В. В. Катюшин. – Новосибирск : Олден-полиграфия, 2003. – 130 с.
13. Краснов, Н. Ф. Аэродинамика тел вращения [Текст] / Н. Ф. Краснов. – М. : Машиностроение, 1964. – 572 с.
14. Савицкий, Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения [Текст] / Г. А. Савицкий. – М. : Стройиздат, 1972. – 233 с.
15. Горлин, С. М. Экспериментальная аэромеханика [Текст] : [учебное пособие для ВУЗов] / С. М. Горлин. – М. : Высшая школа, 1970. – 423 с.
16. Dnepropetrovsk: [S. l.], 2007. 312 p. (in Russian)
3. Many-sided Bent Racks: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference, (Nikolayevka, 2008). Dnepropetrovsk: [S. l.], 2008. 304 p. (in Russian)
4. Many-sided Bent Racks: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference, (Nikolayevka–Kremenets, 2009). Dnepropetrovsk: [S. l.], 2009. 196 p. (in Russian)
5. Many-sided Bent Racks: Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference, (Nikolayevka–Kremenets, 2010). Dnepropetrovsk: [S. l.], 2010. 280 p. (in Russian)
6. Many-sided Bent Racks: Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference, (Nikolayevka–Kremenets, 2011). Dnepropetrovsk: [S. l.], 2011. 154 p. (in Russian)
7. Gunger, Yu. R.; Pivchik, I. R. Development Engineering of Overhead Line Supports (OLS) of Non-traditional Bent Metal Profiles. In: *Electric Power Plants*, 2003, No. 3, p. 48–50. (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. SNiP 2.01.07-85\*. Construction rules and regulations. Loads and effects. Moscow: FGUP TsPP, 2005. 44 p. (in Russian)
10. 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.
11. Manual of Buildings and Constructions Analyses on Wind Effect. Moscow: Stroiizdat, 1978. 217 p. (in Russian)
12. Berezin, M. A.; Katjushin, V. V. Atlas of Aerodynamic Characteristics of Buildings and Structures. Novosibirsk: Olden-poligrafia, 2003. 130 p. (in Russian)
13. Krasnov, N. F. Aerodynamics of Bodies of Rotation. Moscow: Mashinostroenie, 1964. 572 p. (in Russian)
14. Savitskii, G. A. Wind Load on Structures. Moscow: Stroiizdat, 1972. 233 p. (in Russian)
15. Gorlin, S. M. Experimental Aeromechanics. Textbook. Moscow: Vysshiaia shkola, 1970. 423 p. (in Russian)
16. 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)
17. 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, No. 8, issue 2, p. 29–44. (in Russian)
18. 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, No. 1(15), p. 72–80. (in Russian)
19. Blumina, L. H.; Zaharov, Yu. G. Oscillations of Cylindrical Solids in Wind Flow. In: *Structural Dynamics Analyses*. Moscow: Stroiizdat, 1957. p. 44–60. (in Russian)

16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. Мхитарян, А. М. Аэродинамика [Текст] / А. М. Мхитарян. – М. : Машиностроение, 1976. – 448 с.
21. 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.
22. 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.
23. Herviel, John. Joseph Fourier: the Man and the Physicist / John Herviel. – Bristol : Clarendon Press, 1975. – 123 p.
24. Высокопроизводительные дискретные преобразования Фурье на графических процессорах [Текст] / Н. Говидараю, Б. Ллойд, Ю. Доценко [и др.]. – М. : Наука, 2001. – 298 с.
25. Воеводин, В. В. Вычислительная математика и структура алгоритмов [Текст] / В. В. Воеводин. – М. : МГУ, 2006. – 112 с.
26. Dyrbye, C. Wind loads on structures [Текст] / C. Dyrbye. – New York : John Wiley & Sons, 1999. – 229 p.
27. Holmes, J. D. Wind loading of structures [Текст] / J. D. Holmes. – Great Britain : Eastbourne, 2005. – 356 p.
28. Lawson, T. Building aerodynamics [Текст] / T. Lawson. – London : Imperial College Press, 2001. – 286 p.
29. 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.
30. 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.
20. Mhitarian, A. M. Aerodynamics. Moscow: Mashinostroenie, 1976. 448 p. (in Russian)
21. Simiu, E.; Skanlan, R. Wind Effects on Buildings and Structures. Moscow: Stroiizdat, 1984. 360 p. (in Russian)
22. Bracewell, Ronald N. The Fourier Transform and its Applications. 3 edition. Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1999. 496 p. ISBN 0-07-116043-4.
23. Herviel, John. Joseph Fourier: the Man and the Physicist. Bristol: Clarendon Press, 1975. 123 p.
24. Govidaraiu, N.; Lloid, B.; Dotsenko, Yu.; Smit, B.; Manfredelli, D. Effective Discrete Fourier Transformation on Graphic Processors. Moscow: Nauka, 2001. 298 p. (in Russian)
25. Voevodin, V. V. Computing Mathematics and Algorithm Structure. Moscow: MGU, 2006. 112 p. (in Russian)
26. Dyrbye, C. Wind loads on structures. New York: John Wiley & Sons, 1999. 229 p.
27. Holmes, J. D. Wind loading of structures. Great Britain: Eastbourne, 2005. 356 p.
28. Lawson, T. Building aerodynamics. London: Imperial College Press, 2001. 286 p.
29. 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.
30. 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.

**Горохов Євген Васильович** – д. т. н., професор, завідувач кафедри металевих конструкцій, ректор Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Президент Української асоціації з металевих конструкцій, закордонний член Російської академії будівництва, академік Академії Вищої освіти та Академії будівництва України. Член Міжнародного комітету по вивченню впливу вітру на будівлі та споруди. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, кліматичні впливи на будівельні конструкції.

**Василев Володимир Миколайович** – к. т. н., доцент; професор кафедри металевих конструкцій, начальник Лабораторії випробувань будівельних конструкцій і споруд Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Лауреат державної премії. Наукові інтереси: експериментально-теоретичне дослідження робіт опор ліній електропередачі; регулювання і облік внутрішнього напруженого стану гарячекатаного прокату в будівельних конструкціях.

**Кузнецов Сергій Георгійович** – д. т. н., професор; завідувач кафедри містобудування та інженерної графіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розвиток методики оцінки вітрового впливу на будівлі, споруди та їх комплекси, удосконалення методик моделювання приземного пограничного шару атмосфери, натурних і модельних випробувань будівель та споруд на вітрове навантаження.

**Гаранжа Ігор Михайлович** – асистент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи гратчастих та багатограних листових опор повітряних ліній електропередачі.

**Лозинський Едуард Олександрович** – асистент кафедри архітектури промислових і цивільних будівель Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розвиток методики оцінки вітрового впливу на будівлі, споруди та їх комплекси, удосконалення методик моделювання натурних і модельних випробувань будівель та споруд на вітрове навантаження.

**Щербанос Олександр Григорович** – науковий співробітник кафедри аеродинаміки та льотної експлуатації Національного авіаційного університету. Наукові інтереси: аеродинаміка літальних апаратів, промислова аеродинаміка.

**Павловський Роман Миколайович** – старший науковий співробітник кафедри аеродинаміки та льотної експлуатації Національного авіаційного університету. Наукові інтереси: аеродинаміка літальних апаратів, промислова аеродинаміка.

**Горохов Евгений Васильевич** – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой металлических конструкций, ректор Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Президент Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, Иностранный член Российской Академии строительства, академик Академии Высшей школы и Академии строительства Украины. Член Международного комитета по изучению воздействия ветра на здания и сооружения. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, климатические нагрузки на строительные конструкции.

**Васильев Владимир Николаевич** – к. т. н., доцент; профессор кафедры металлических конструкций, начальник Лаборатории испытаний строительных конструкций и сооружений Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Лауреат государственной премии. Научные интересы: экспериментально-теоретическое исследование работ опор линий электропередачи; регулирование и учет внутреннего напряженного состояния горячекатаного проката в строительных конструкциях.

**Кузнецов Сергей Георгиевич** – д. т. н., профессор; заведующий кафедрой градостроительства и инженерной графики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: развитие методики оценки ветровых воздействий на здания, сооружения и их комплексы, совершенствование методик моделирования приземного пограничного слоя атмосферы, натурных и модельных испытаний зданий и сооружений на ветровое давление.

**Гаранжа Игорь Михайлович** – ассистент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение действительной работы решетчатых и многогранных листовых опор воздушных линий электропередачи.

**Лозинский Эдуард Александрович** – ассистент кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: развитие методики оценки ветровых воздействий на здания, сооружения и их комплексы, совершенствование методик моделирования натурных и модельных испытаний зданий и сооружений на ветровое давление.

**Щербонос Александр Григорьевич** – научный сотрудник кафедры аэродинамики и летной эксплуатации Национального авиационного университета. Научные интересы: аэродинамика летательных аппаратов, промышленная аэродинамика.

**Павловский Роман Николаевич** – старший научный сотрудник кафедры аэродинамики и летной эксплуатации Национального авиационного университета. Научные интересы: аэродинамика летательных аппаратов, промышленная аэродинамика.

**Yevgen Gorokhov** – DSc (Eng), Professor; Head of the Metal Structures Department, Rector of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. President of the Ukrainian Association of Metal Structures, a foreign member of the Russian Academy of Civil Engineering, an academician of the Higher School Academy and the Academy of Civil Engineering of Ukraine. A member of the International Committee on studying wind influence on buildings and structures. Scientific interests: operational reliability of building metal structures, climatic loads on building structures.

**Volodymyr Vasylev** – PhD (Eng), Associate Professor; a lecturer of the Metal Structures Department, head of the Laboratory of testing building structures and building of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. A state prize-winner. Scientific interests: experimental and theoretical investigation of power transmission tower operation, control and record of the inner stressed state of the hot-rolled metal in building structures.

**Sergey Kuznetsov** – DSc (Eng), Professor; Head of the Town-planning and Construction and Engineering Graphics Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: development of method estimation of wind effects on buildings, construction and their complexes; perfection of methods modelling of a ground atmospheric boundary layer; full-scale and modelling tests of wind loads on buildings and structures.

**Igor Garanzha** – is the post-graduate student of the Metal Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of the valid work trellised and more-sides sheet supports of overhead power lines.

**Eduard Lozinsky** – an assistant of the Architecture of Industrial and Civil Buildings Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: development of the estimation technique of the wind effects on buildings, construction and their complexes; imperfection of the simulation technique of the ground atmospheric boundary layer; full-scale and modelling testing of wind loads on constructions and structures.

**Olexandr Shcherbonos** – Research fellow of the Aerodynamic Department of the National Aviation University. Scientific interests: aerodynamics of air-craft, industrial aerodynamics.

**Roman Pavlovsky** – Senior research fellow of the Aerodynamic Department of the National Aviation University. Scientific interests: aerodynamics of aircraft, industrial aerodynamics.