

## РАСЧЕТ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПАКЕТА MathCAD

В.В. Тур, А.В. Черноиван

Брестский государственный технический университет  
ул. Московская, 267, Брест, Республика Беларусь, 224017

Представлены методики расчета с использованием математического пакета MathCAD параметров ветрового воздействия: основного значения базовой скорости ветра, коэффициента, учитывающего направление ветра, конструкционного коэффициента и величины ветрового усилия (ветрового давления).

**Ключевые слова:** основное значение базовой скорости ветра, коэффициент, учитывающий направление ветра, конструкционный коэффициент, ветровое воздействие, математический пакет MathCAD.

С 1 января 2010 г. на территории Республики Беларусь введена в действие система европейских нормативных документов, включающая ТКП EN 1991-1-4-2009 [1]. В соответствии с принятым регламентом введения евроном в качестве национальных ТНПА предполагается, что каждое государство — участник процесса составляет к идентичному тексту перевода еврокода национальное приложение, в котором приводятся значения национально устанавливаемых параметров.

Анализ нормативных документов, регламентирующих атмосферные воздействия на конструкции, показал, что для получения численных значений целого ряда параметров ветровых воздействий, устанавливаемых на национальном уровне, необходимо использовать методы статистического оценивания. С целью алгоритмизации определения основного значения базовой скорости ветра  $v_{b,0}$ , коэффициента  $c_{dir}$ , учитывающего направление ветра, конструкционного коэффициента  $c_s c_d$  и величины ветрового усилия  $F_w$  (ветрового давления  $w$ ), действующих на некоторые типы конструкций, был разработан ряд программы с использованием математического пакета MathCAD.

В качестве исходных данных для выполнения статистического оценивания были использованы результаты систематических измерений базовых характеристик ветра на 46 метеорологических станциях и постах Республики Беларусь за период 1966—2008 гг., предоставленные ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр».

Для получения данных, позволяющих решать инженерные задачи, зафиксированные параметры скорости ветра были приведены к микрометеорологическому однородному ряду, определяемому следующими факторами: высотой установки ветроизмерительных приборов над поверхностью земли, временем осреднения скорости ветра, шероховатостью поверхности окружающей местности, сроками и количеством наблюдений в сутки, изменением конструкции ветроизмерительных приборов.

**Программа «Расчет скорости».** Данная программа позволяет осуществлять вычисления основного значения базовой скорости ветра  $v_{b,0}$ . Данное значение скорости ветра численно равно характеристической скорости со средним периодом повторяемости 50 лет, соответствующей 10-минутному интервалу осреднения

независимо от времени года и направления ветра на уровне 10 м над поверхностью земли для открытого типа местности с низкой растительностью (например, как трава) и изолированными отдельно стоящими преградами, расстояние между которыми составляет как минимум 20 их высот [1].

Классическая теория экстремальных значений, асимптотическая теория распределений для максимумов независимых одинаково распределенных случайных величин, выделяет три формы, называемые распределениями экстремальных значений. Выполненный анализ позволил заключить, что наилучшее согласие со статистическими данными имеет несмещенное распределение Вейбулла, использованное для установления значения скоростей ветра для различных районов бывшего СССР Главной геофизической обсерваторией им. Воейкова [2]:

$$F(V) = 1 - \exp\left[-(V/\eta)^\alpha\right], \quad (1)$$

где  $F(V)$  — вероятность того, что в прогнозируемый момент времени скорость ветра не превысит значения  $V$ . В соответствии с [1] характеристическое значение ветровой нагрузки имеет вероятность превышения 0,02, которая является эквивалентной периоду повторяемости 50 лет;  $\eta, \alpha$  — коэффициенты, определяемые для каждой метеостанции и зависящие от ветрового режима рассматриваемой местности.

Учитывая, что в мировой практике зафиксированные значения скорости ветра округляются до целых величин, что затрудняет получение максимумов скорости ветра с высокой достоверностью аппроксимации, определение величины  $v_{b,0}$  в программе «Расчет скорости» выполняется с использованием способа псевдошумового квантования (обратная задача) [3]. Под квантованием понимается разбиение диапазона значений некоторой величины на конечное число интервалов. Данная процедура предполагает добавление перед операцией квантования к исходным данным малой псевдослучайной составляющей (псевдошума) и одновременно вычитание ее из данных, получаемых на выходе квантователя.

Блок-схема системы псевдошумового квантования показана на рис. 1. Входной отсчет, величина  $x$  которого представляет исходную величину, объединяется с псевдослучайной величиной  $n_T$ , и полученная сумма  $z$  поступает на квантователь, имеющий равномерную шкалу с шагом  $\Delta$ . Возможные значения псевдослучайной величиной  $n_T$  распределены равномерно в интервале от  $-\Delta/2$  до  $+\Delta/2$  с плотностью  $1/\Delta$ . Величина  $n_R$ , поступающая от другого источника псевдошума, вычитается из конечного показателя квантователя  $w$  с целью получения результирующей величины  $y$ .

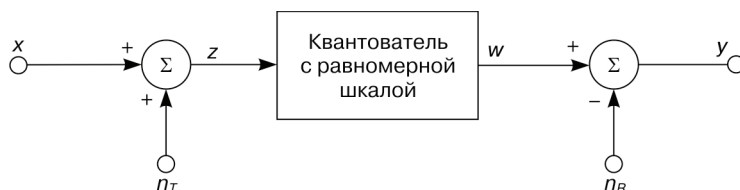


Рис. 1. Схема процесса псевдошумового квантования

Окно программы «Расчет скорости» (рис. 2), открывающееся при ее запуске, содержит три пункта, при верном выполнении которых пользователь получает графическое и численное решение данной статистической задачи.

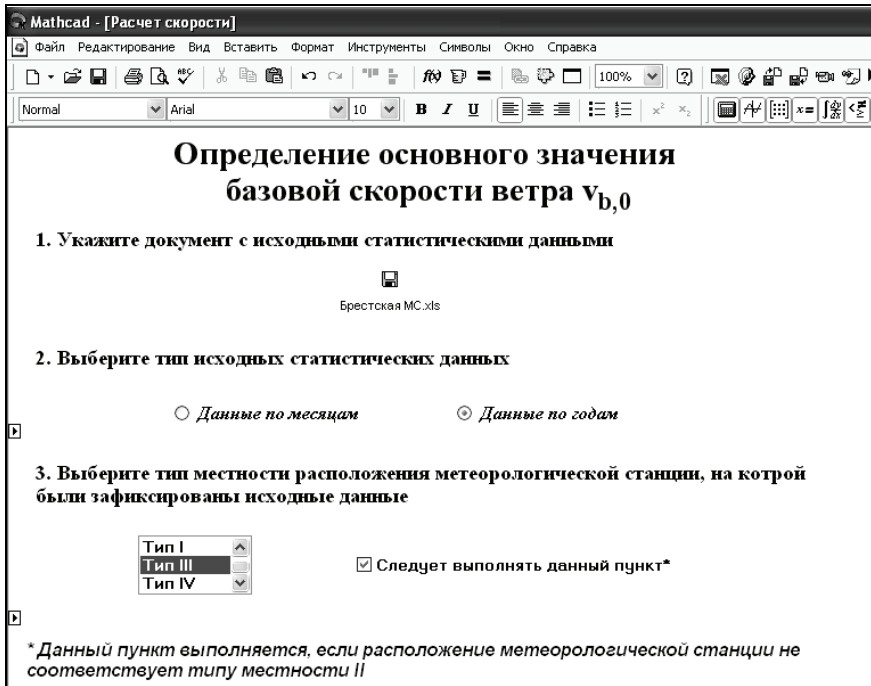


Рис. 2. Интерфейс программы «Расчет скорости»

Программа позволяет кроме величины основного значения базовой скорости ветра и графического отображения функций получить численные значения коэффициентов и величины достоверности аппроксимации (коэффициенты детерминации) для линий тренда (рис. 3).

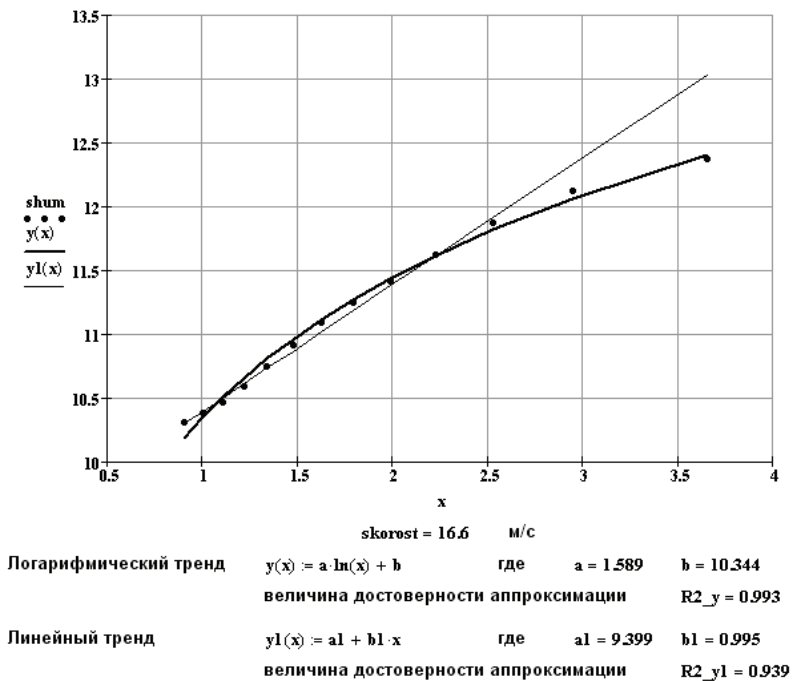


Рис. 3. Результаты вычислений в программе «Расчет скорости»

Основные характеристические значения базовой скорости ветра, полученные с помощью данной программы, были использованы для составления карты ветровых районов Республики Беларусь.

**Программа «Расчет коэффициента направления».** В данной программе вычисления коэффициента  $c_{dir}$  осуществляются с учетом случайного характера изменения направления ветра. Использование метода, базирующегося на предположении, что все горизонтальные направления ветра равновероятны, допустимо в связи с тем, что сооружения ориентируются в пространстве обычно не по розе ветров, а в соответствии с принятой планировкой местности.

Для определения численного значения коэффициента  $c_{dir}$  результаты метеорологических наблюдений разделяются на 12 секторов по  $30^\circ$  каждый, причем первый сектор соответствует северному направлению ветра, т.е.  $0^\circ (360^\circ) \pm 15^\circ$  [4]. На основании получаемых с использованием способа псевдошумового квантования скоростей для каждого из 12 секторов выполняется определение коэффициентов, учитывающих направление, как частное текущей и максимальной скоростей.

Интерфейс программы «Расчет коэффициента направления» аналогичен рассмотренной выше программе «Расчет скорости» (см. рис. 2, 3) за исключением второго пункта, который предполагает выбор рассчитываемого сектора [5].

**Программа «Расчет конструкционного коэффициента»** определяет значение коэффициента  $c_s c_d$ , учитывающего возможность одновременного возникновения пиковых значений скоростного напора ветра по всей поверхности (составляющая  $c_s$ ), а также влияние резонансных колебаний сооружения вследствие турбулентности ветра (составляющая  $c_d$ ).

В основе программы лежит подробная процедура определения конструкционного коэффициента согласно методу, приведенному в [1]. Условием применения данной процедуры является соблюдение условий [1]:

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_e) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_e)}, \quad (2)$$

где  $k_p$  — пиковый коэффициент как отношение максимального значения пульсационной составляющей реакции сооружения к его стандартному отклонению;  $I_v$  — интенсивность турбулентности по [1];  $z_e$  — базовая высота для определения конструкционного коэффициента [1];  $B^2$  — фоновая составляющая реакции, учитывающая отсутствие полной корреляции давления на поверхность конструкции;  $R^2$  — резонансная составляющая реакции, учитывающая резонансные колебания с учетом формы колебаний вследствие турбулентности.

Исходными данными для вычисления значений коэффициента  $c_s c_d$  являются: основное значение базовой скорости ветра, тип местности, ширина (изменяется в пределах от 0 до 100 м) и высота (изменяется в пределах от 0 до 200 м) сооруже-

ния, материал его несущих конструкций (сталь или железобетон), что необходимо указать пользователю в окне программы [5].

С использованием данной программы были построены графики зависимости конструкционного коэффициента от ширины и высоты поверхности сооружения, перпендикулярной направлению действия ветра, для климатических условий Республики Беларусь [1].

**Программа «Расчет ветровой нагрузки»** позволяет реализовать расчетные процедуры для определения ветровых воздействий [1] для вертикальных стен прямоугольных в плане зданий, а также плоских (с парапетом), односкатных и двускатных покрытий с учетом направления набегающего потока  $\Theta$ .

Величина ветровой нагрузки, действующей на вертикальные стены, определяется векторным сложением сил, действующих на внешнюю  $F_{w,e}$  (3) и внутреннюю  $F_{w,i}$  (4) поверхности здания. Полученные ветровые усилия  $F_w$  прикладываются в точках сопряжения вертикальных и горизонтальных несущих конструкций в уровнях каждого этажа:

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{поверхности}} w_e \cdot A_{ref}, \quad (3)$$

$$F_{w,i} = \sum_{\text{поверхности}} w_i \cdot A_{ref}, \quad (4)$$

где  $c_s c_d$  — конструкционный коэффициент;  $w_e$ ,  $w_i$  — внешнее и внутреннее ветровое давление, действующее на отдельную поверхность и определяемое по выражениям (5) и (6) соответственно;  $A_{ref}$  — базовая площадь отдельной поверхности конструкции.

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}, \quad (5)$$

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}, \quad (6)$$

где  $q_p(z)$  — пиковое значение скоростного напора ветра [1];  $c_{pe}$ ,  $c_{pi}$  — аэродинамические коэффициенты внешнего и внутреннего давления [1].

Расчет ветрового давления  $w$ , действующего на покрытия, выполнялся согласно [1] в соответствии с выражениями (5), (6).

Интерфейс программы «Расчет ветровой нагрузки» представлен на рис. 4. После выполнения четырех пунктов программы пользователю необходимо активизировать одну из областей — «Вертикальные стены», «Плоские покрытия» или «Скатные покрытия», соответствующую выбранному типу конструкции, где следует указать дополнительные данные (геометрические размеры здания и т.д.), необходимые для расчета.

Полученные ветровые усилия  $F_w$  или ветровое давление  $w$  совместно с данными, необходимыми для правильного приложения нагрузки, сохраняются в матричной форме в создаваемом программой итоговом файле «Результаты.rpt».

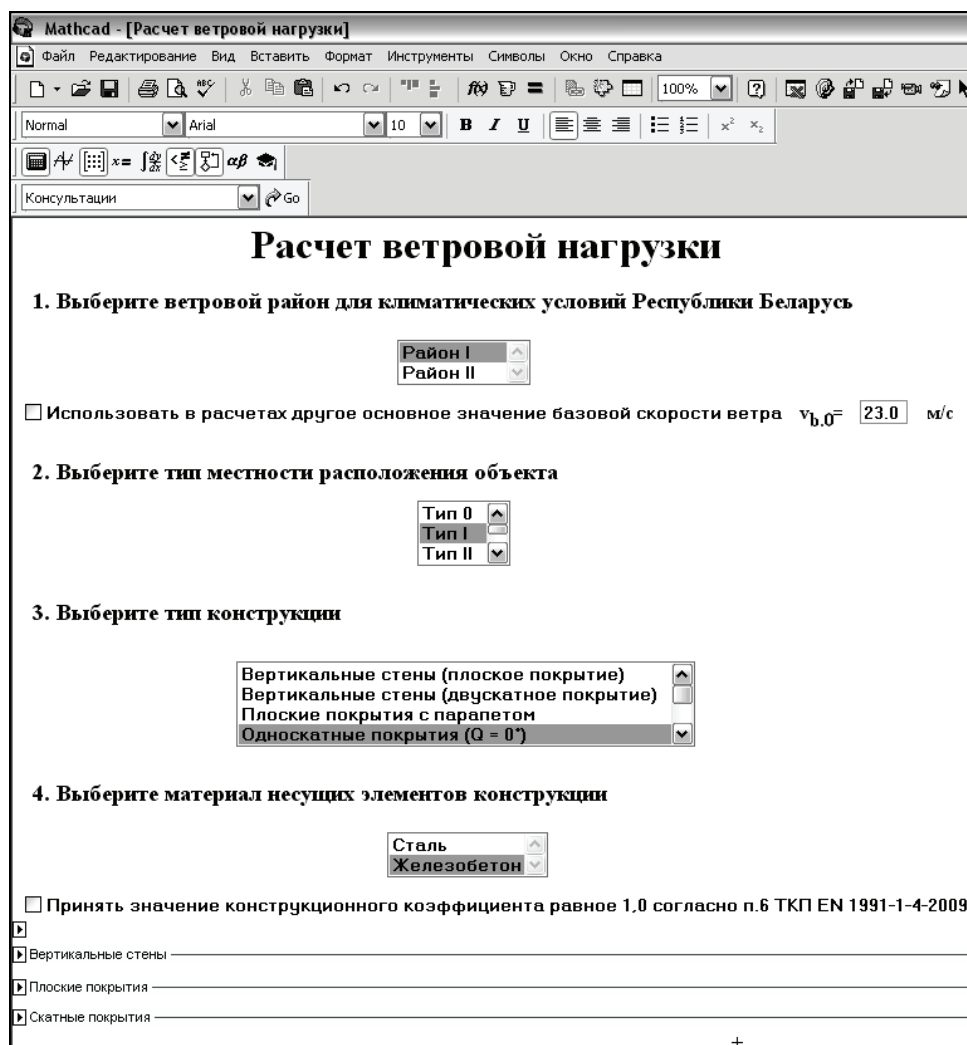


Рис. 4. Интерфейс программы «Расчет ветровой нагрузки»

Разработанные программы для ПК с использованием математического пакета MathCAD, базирующиеся на использовании способа псевдошумового квантования, позволяют выполнять статистическое оценивание данных метеорологических измерений ветровых воздействий, зафиксированных на метеорологических станциях и постах с достоверностью аппроксимации, превышающей 0,98, что соответствует периоду повторяемости не менее 50 лет.

Расчетные процедуры, реализованные в программе «Расчет ветровой нагрузки», позволяют определять ветровые воздействия на вертикальные стены прямоугольных в плане зданий, плоских и скатных покрытий. Это упрощает решение инженерных задач на этапе проектирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Ч. 1—4. Общие воздействия. Ветровые воздействия: ТКП EN 1991-1-4-2009. — Введ. 01.01.2010. — Мн.: Минстройархитект РБ, 2010.

- [2] *Райзер В.Д.* Теория надежности в строительном проектировании. — М.: АСВ, 1998.
- [3] *Прэнтт У.* Цифровая обработка изображений / Пер. с англ. — М.: Мир, 1982.
- [4] *Żurański J.A.* Wpływ warunków klimatycznych i terenowych na obciążenie wiatrem konstrukcji budowlanych. — Warszawa: Wydawnictwa Instytut Techniki Budowlanej, 2005.
- [5] *Черноиван А.В.* Исследования и разработка предложений по нормированию ветровой нагрузки на высотные здания для климатических условий Республики Беларусь: Дисс. ... магистра наук. — Брест, 2009.

## **CALCULATION OF SOME PARAMETERS OF WIND ACTION WITH USE MATHEMATICAL PACKAGE MATHCAD**

**V.V. Tur, A.V. Chernovian**

Brest State Technical University  
*Moscow str., 267, Brest, Belarus, 224017*

Design techniques with use of mathematical package MathCAD of following parameters of wind action are presented: fundamental basic wind velocity, directional factor, structural factor and value of wind force (wind pressure).

**Key words:** fundamental basic wind velocity, directional factor, structural factor, wind action, mathematical package MathCAD.