

УНИВЕРСИТЕТ ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ
Международна научно-приложна конференция УАСГ2009

29-31 ОКТОМВРИ 2009
29-31 OCTOBER 2009

International Conference UACEG2009: Science & Practice
UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY

ОСОБЕНОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЯНЕТО НА НАТОВАРВАНЕТО ОТ ВЯТЪР В СЪВРЕМЕННИТЕ НОРМИ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ

И. Тотев¹, В. Яков², П. Тотев³

Ключови думи: натоварване от вятър, норми за проектиране, линейна регресия

Научна област: строителни конструкции

РЕЗЮМЕ

Разгледани са особеностите при определянето на натоварването от вятър върху сгради и съоръжения според Наредба №3, Еврокод 1, DIN 1055 и проектите за норми за натоварване на Русия и Индия.

Направен е анализ на трудностите, свързани с използването на метеорологични данни от станции с Вилдови ветромери с леки плочи, регистриращи скорости на вятъра до 20 m/s. Предложено е програмно решение за обработка на данни за годишните максимуми на такива статистически извадки.

Направено е сравнение на отчитането на пулсациите на вятъра по височина на съоръжението в различните нормативни документи.

Сравнени са аеродинамичните коефициенти в зоните на ръбовете на сградите, използвани за изчисляване на закрепването на ограждащите елементи.

Направени са предложения, свързани с националните параметри към Еврокод 1, част 4.

1. Въведение

Преминаването към системата конструктивни Еврокодове води до промяна в методиката при изчисляването на натоварванията и въздействията от вятър върху сградите и съоръженията. Въпреки значителните различия в обема и начина на излагане на материала, основните положения от нашите предишни норми се запазват. В съответствие с изискванията на БДС EN 1991-1-4, към повече от 60 точки на Еврокод 1 - част 4 се дава възможност за национален избор. Основната съставна част

¹ И. Тотев, доц. д-р, УАСГ, itotev_fce@uacg.bg

² В. Яков, ас., УАСГ, vny@mail.bg

³ П. Тотев, plamen.totev@yahoo.com

на това Национално приложение е картата за райониране на страната за налягане от вятър $q_{b,0}$, определена с вероятност за превишение в една година 0,02 (среден период на превишение 50 години). В изследването са разгледани проблемите, свързани с достоверността на метеорологичните данни и тяхната статистическа обработка и са предложени подходи за решаването им. С помощта на специално разработен софтуер са изследвани данните за годишните максимуми на скоростта на вятъра от 50 годишен период за 137 станции в страната.

За някои съвременни норми е направено сравнение на процедурите за определянето на изменението на натоварването от вятър във функция на височината над терена. Съпоставени са аеродинамичните коефициенти в зоната на ръбовете на сградите.

Предложена е приблизителна формула за определяне скоростта на вятъра с обезпеченост различна от 0,98. Изследвана е грешката, която се получава при средни периоди на превишение 5, 25 и 100 години.

2. Определяне на базовата скорост на вятъра

Базовата скорост на вятъра $V_{b,0}$ се определя от метеорологични данни за годишните максимуми за периоди с продължителност не по-малка от 40 години. Тя се измерва на височина 10 метра над терена с период на осредняване 10 минути. Изисква се терена да е II категория по класификацията на БДС EN 1991-1-4.

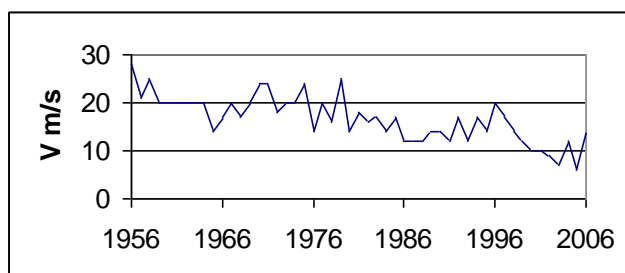
Националният институт по метеорология и хидрология на Българската академия на науките разполага с данни за достатъчно дълги периоди от време. Записвани са скоростите на вятъра няколко пъти в денонощието. Използвани са ветромери тип Вилд, при който за скоростта на вятъра се съди по отклонението от вертикалното положение на плоча, закрепена в горния си край на хоризонтална ос. В зависимост от теглото на плочата тя заема хоризонтално положение при 20 m/s или 40 m/s. При достигане на това максимално положение на плочата наблюдателят записва в дневника отчет 20* или 40*, което означава, че скоростта на вятъра е по-голяма от тази стойност. В табл. 1 е показан броят на такива отчети със * в периодите на изследваните станции.

Таблица 1. Станции с регистрирани неуточнени максимални скорости

Брой на отчети със *	Брой станции	%
без отчети *	41	36,9
с 1 отчет *	16	14,4
с 2 отчета *	14	12,6
с 3 отчета *	8	7,2
с 4 отчета *	5	4,5
с 5 отчета *	4	3,6
с 6 отчета *	3	2,7
с над 6 отчета *	20	18,1

От таблицата може да се направи изводът, че за половината от станциите броят на отчетите маркирани със * е приемлив – до 2 броя. Около 1/3 са с брой над 5, като в някои случаи достига 15 броя.

Теренът около мястото на измерване в много малко от случаите съответства на II категория по БДС EN 1991-1-4. Районът около Централната метеорологична станция в София е силно променен в последните 30 – 40 години поради застрояването на ж.к. „Младост“. На фиг. 2 е показан ходът на годишните максимуми за последните 50 години за тази станция.



Фиг. 1. Изменение на годишните максимуми за периода 1956-2006 г. за района на Централната метеорологична станция – София

Интервалът от време, за който се осреднява скоростта на вятъра при метеорологичните наблюдения, е 2 минути. Това осредняване се извършва визуално от наблюдателя по отклоненията на плочата на ветромера.

Отбелязаните по-горе източници на грешки при определянето на стойностите на годишните максимуми дава отражение и върху получените резултати за определяната скорост със среден период на превишение 50 години.

Заменянето на ветромерите тип Вилд с анемометри с автоматично записване на скоростите през зададени от потребителя интервали от време и при зададена продължителност на осредняване е необходимо условие за коректна база данни. Данните, получени от тези съвременни уреди, с които разполага НИМХ, са за около 5 годишен период и малък брой станции. Това налага да се работи с дългите редици от записите с вилдови ветромери, като се използва опитът на другите страни за намаляване неточностите от това.

Преминаването от скоростите с две минутен интервал на осредняване към десет минутен интервал обикновено се извършва с корекционен коефициент по-малък от единица. Направените от ст. н.с. д-р П. Иванов сравнения за редица станции в страната от паралелни записи с Вилдов ветромер и анемометър със записващо устройство показват, че за България този коефициент може да се приеме 0,8. В Румъния [5] стойността му също е от този порядък.

Обработката на данните от годишните максимуми е извършена с два специално разработени програмни продукта: Windreg и Windreg_q. Двете програми извършват регресионен анализ на данните и определят най-подходящия тип разпределение на годишните максимуми. Сравняват се четири разпределения, които са показали, че дават добра апроксимация на статистическите редове от годишните максимуми на скоростта на вятъра. Тези разпределения са: логнормално разпределение, и трите типа на разпределения на Фишер -Типет. Използвано е преобразуването на функциите на Фишер - Типет [11] за да се сведе задачата за определяне на най-подходящия тип разпределение до линеен регресионен анализ. Разликата между двете програми е във величините между които се извършва регресионният анализ. При Windreg се работи с годишните максимуми на скоростта на вятъра, а програмата Windreg_q работи с

годишните максимуми на ветровото налягане. Това е направено, за да се провери дали и за територията на България е по-добре да се използва ветровото налягане, както това е забелязано за някои станции в Германия [6]. Във Windreg_q за определяне на коефициентите на кривата се работи със скоростите на годишните максимуми, които са над 15 m/s, както е в Германия. Използването само на силните ветрове е оправдано, тъй като при регистриране на скоростта на вятъра няколко пъти дневно, има опасност да бъде пропусната максималната скорост за деня. Силните ветрове се записват от наблюдателите и когато са били в интервалите между два срочни записа. По същата причина и в програмата Windreg коефициентите се определят от точките на годишните максимуми със скорост над 7 m/s. Тази по-ниска долна граница е приета поради наличието на много станции с ветромери с лека плоча, регистриращи скорости до 20 m/s. Приемането на диапазон от 16 до 20 m/s би намалило точността. При двете програми отчетите със знак * също не участват в изчисленията на регресионните коефициенти.

За няколко станции със записи до 40 m/s е извършено паралелно изследване и с двете програми. В табл. 2 са показани резултатите от тези изчисления.

Таблица 2. Сравнение на резултатите, получени от Windreg и Windreg_q

Станция	Windreg		Windreg_q		$V_{50,v} / V_{50,q}$	$k_{r,v} / k_{r,q}$
	k_r	$V_{50,v}$ [m/s]	k_r	$V_{50,q}$ [m/s]		
Бургас	0.974	44.4	0.968	42.64	1.01	1.04
Калиакра	0.925	50.5	0.973	44.16	0.95	1.14
Казанлък	0.982	49.3	0.980	49.37	1.00	1.00
Русе	0.986	51.9	0.986	51.91	1.00	1.00
Сливен	0.959	55.4	0.962	58.12	1.00	0.95
				$\mu=$	0.99	1.03
				$\sigma=$	0.02	0.07

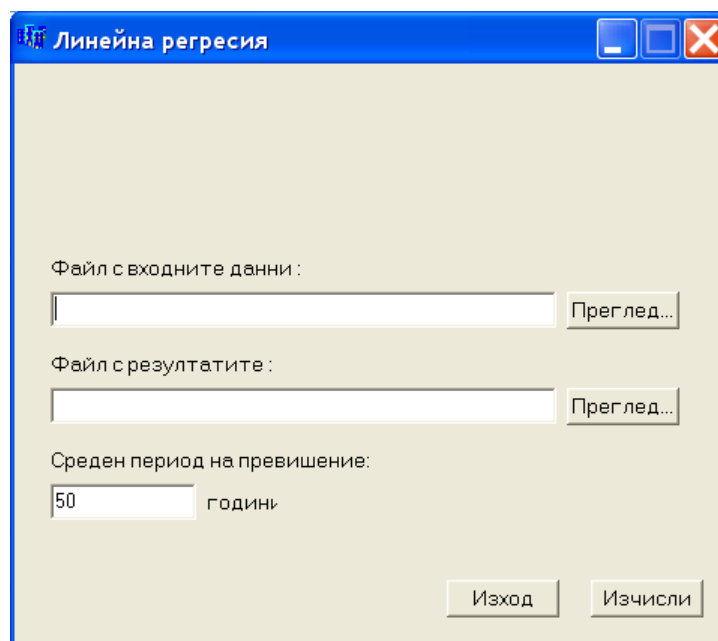
Както се вижда от табл. 2, няма съществена разлика в резултатите, получавани от двете програми. Само за района на Калиакра коефициентът на корелация при Windreg_q е по-добър и скоростта е с 14% по-ниска. При наличието на данни от анемометри със записващи устройства използването и на двете програми ще позволи да се направи избор на разпределение с максимален коефициент на корелация.

На фиг. 2 е показан работният прозорец на програмите Windreg и Windreg_q. Той има един и същ вид и за двете програми, разликата между тях е в част от кода. Програмите четат данните за годишните максимуми от текстов файл и след изчисленията записват резултатите в HTML формат – табл. 3. По подразбиране се изчислява скоростта със среден период на превишение 50 години, но може да бъде зададен и друг по желание на потребителя.

От табл. 3 се вижда, че при разлика по-малко от 1% между коефициентите на корелация за разпределенията тип Гумбел и тип Фреше, скоростите се различават с около 20%. Това съответства на разлика в налягането около 44%. Интересно е да се отбележи, че за района на тази станция и двете програми дават едни и същи резултати както за коефициента на корелация, така и за скоростта на вятъра.

Таблица 3. Изходен запис на програма Windreg за района на Русе

Разпределение	a	b	k	V ₅₀
Логнормално разпределение	3.5879	-11.2964	0.970767	41.3
Гумбел	-0.171446	3.59541	0.980677	43.7
Фреше	-4.22573	12.7875	0.986394	51.9
Вейбул	4.42157	-14.4481	0.921752	35.7



Фиг. 2. Работен прозорец на програмите Windreg и Windreg_q

След привеждане към базовата скорост с десетминутно осредняване, получаваме $V_{b,0} = 41.5$ m/s или базово налягане $q_{b,0} = 1.08$ kN/m². За района на Гюргево в картата на румънските норми [7] $q_{b,0} = 0.5$ kN/m². Това може да е предизвикано както от посочената по-горе разлика от типовете на разпределение на годишните максимуми, така и от топографските особености на мястото на измерване. Станцията е близо до високия бряг на Дунава, от което се поражда местно увеличение на скоростта. Този пример показва голямата сложност на задачата за изготвяне на карта за натоварване от вятър за страната. Необходими са достоверни данни за годишните максимуми за достатъчно дълъг период от време, прецизна статистическа обработка на тези данни и задълбочен анализ на получените резултати с отчитане на многообразието от фактори, които оказват влияние върху натоварването от вятър.

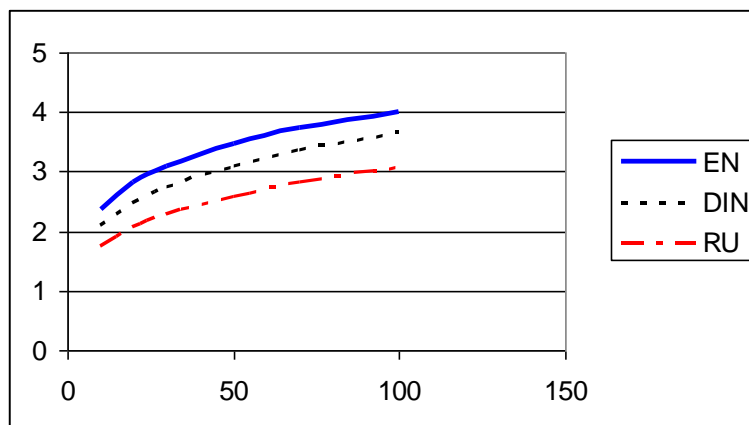
3. Особенности при определянето на натоварването от вятър в някои съвременни норми

Въпреки ясно очертаващата се тенденция за унификация на основните подходи при определянето на натоварването от вятър в нормите на отделните държави има определени различия в някои процедури и конкретни стойности.

Разгледани са подходите при определянето на натоварването от поривите на вятъра във височина над терена и е направено сравнение на някои конкретни стойности на EN 1991-1-4 [3], DIN 1055-4 [2], Наредба № 3 [12] и проекта за норми за натоварване на Русия [14].

В проекта за нови норми за натоварване от вятър на Руската федерация [14] се запазва подходът приносът от поривите на вятъра да се изчислява отделно от налягането от средната стойност на скоростта на вятъра при десет минутен интервал на осредняване. В проекта за норми на Индия [4] няма такова разделяне и се работи само с налягането, предизвикано от пулсациите с период на осредняване 3 секунди. Тяхната карта за натоварване от вятър е разработена именно с такива високи стойности на скоростта. Това има известно основание от методологически характер. Не се създава погрешното впечатление у проектантите, че може да се използва в изчисленията скоростта с период на осредняване 10 минути. В действителност тя е само изходна база, от която се получава необходимата за изчисленията скорост на поривите.

Изчислено е нарастването по височина на натоварването от вятър, породено от неравностите на терена и пулсационната компонента по EN 1991-1-4 [3], DIN 1055-4 [2] и проекта на руските норми за натоварване [14]. Наредба № 3 [12] използва в тази си част същата методика както [14] и затова има пълно съвпадение на резултатите от двата документа. Сравнението е извършено за равнинен терен, който съответства на II категория от EN 1991-1-4. Резултатите са показани на фиг. 3.



Фиг. 3. Изменение на натоварването от вятър по височина

От графиките на фиг. 3 се вижда, че разликата между Еврокода и руските норми (Наредба №3) е около 30 - 35 %. Следователно при преминаването от Наредба №3 към

EN 1991-1-4 дори при запазване на една и съща базова скорост $V_{b,0}$ за даден район реално натоварването от вятър ще се увеличи с около 1/3.

Допълнително увеличение от този порядък ще има и в зоните на ръбовете на сградите. В Наредба № 3 се предвижда в зони с широчина 1,5 m около ръбовете да се прави проверка на закрепването на ограждащите елементи, като се използва съгласно чл. 96(2), отрицателен аеродинамичен коефициент $c=-2,0$. В EN 1991-1-3 има допълнително въведена зона F в ъглите на тези зони. При малки наклони на покрива (до 5^0) аеродинамичният коефициент $c_{pe,1}=-2,5$. В [14] за тези участъци се препоръчва изследване в аеродинамичен канал, но се дават ориентировъчни стойности за аеродинамичния коефициент $-3,5$ при площи, предаващи натоварването си върху съответното закрепване до $2 m^2$.

4. Определяне на параметрите на зависимостта за приблизително изчисляване на скоростта на вятъра с обезпеченост различна от 0,98

В случаите, когато в изчисленията се използват натоварвания с обезпеченост срещу годишно превишение 1-р, различна от 0,98 в 4.2(1)P на EN 1991-1-4 е дадена зависимостта (4.2). С нея се получава корекционният коефициент c_{prob} , с когото се умножава $V_{b,0}$ от картата за ветровото натоварване. Формула (1) възпроизвежда зависимостта (4.2):

$$c_{prob} = \left[\frac{1 - K \cdot (\ln(-\ln(1 - p)))}{1 - K \cdot (\ln(-\ln(0,98)))} \right]^n, \quad (1)$$

Предвижда се коефициентите K и n да се определят в Национално приложение. Препоръчаните стойности са $K=0,2$ $n=0,5$.

Формула (4.2) е получена от зависимостта между обезпечеността и скоростта при използване на разпределението на Гумбел. След двукратно логаритмуване се получават зависимостите:

$$\begin{aligned} \ln(-\ln(1 - 0,02)) &= ax_{50} + b \\ x_{50} &= \frac{\ln(-\ln(1 - 0,02)) - b}{a} \end{aligned}, \quad (2)$$

При вероятност за превишение в течение на една година p, скоростта V_p се изчислява от зависимости (3):

$$\begin{aligned} \ln(-\ln(1 - p)) &= ax_p + b \\ x_p &= \frac{\ln(-\ln(1 - p)) - b}{a} \end{aligned}, \quad (3)$$

Съответно за отношението x_p/x_{50} се получава:

$$c_{prob} = \frac{x_p}{x_{50}} = \frac{\ln(-\ln(1-p)) - b}{\ln(-\ln(1-0,02)) - b} = \frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1-p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(1-0,02))}$$

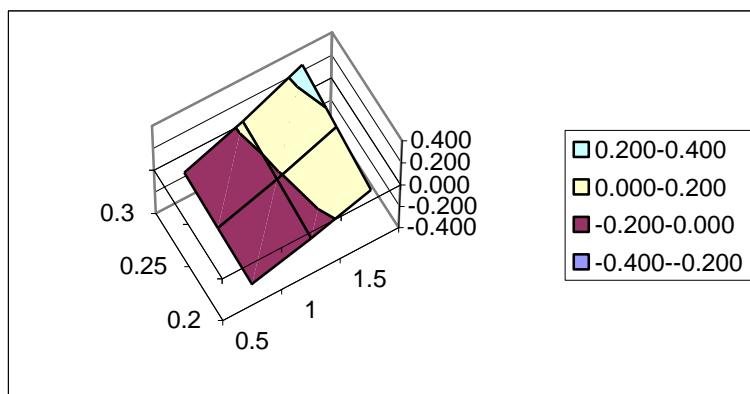
$$K = -\frac{1}{b}, \quad (4)$$

Разликата между формулите (1) и (4) е че липсва степенният показател n . Той е въведен в Еврокод 1, за да може да се използва зависимостта (4.2) и в случаите, когато регресионният анализ се провежда не за скоростите, а за ветровите налягания, както е направено в програмата Windreg_q. В този случай степенният показател е $n=0,5$.

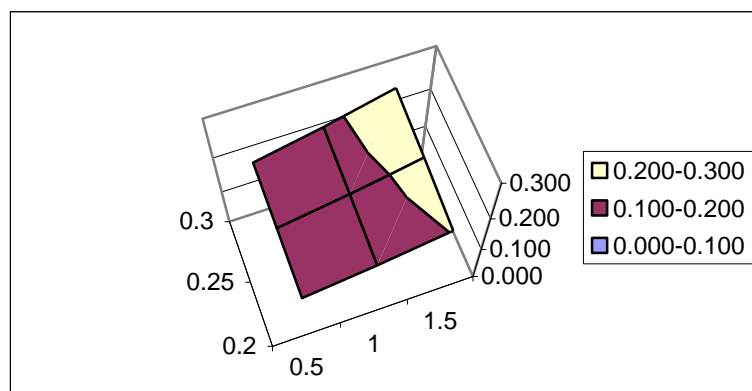
За да се определят националните стойности на двата коэффициента K и n са направени сравнителни изчисления по данните от 119 метеорологични станции, разположени равномерно по цялата територия на България. Както е описано в т. 2 за всяка от тези станции са получени с регресионен анализ коэффициенти a и b на четирите криви на разпределение: логнормално, Гумбел, Фреше и Вейбул. След това са определени за всяко от тях точните стойности на скоростите на вятъра със среден период на превишение 5, 25 и 100 години.

Накрая са изчислени средните стойности μ и средноквадратичните отклонения σ на грешките, които се получават при използване на зависимостта (4.2).

На фигури 3 и 4 са показани резултатите от това сравнение за стойности на $K=0,20; 0,25; 0,30$ и на $n=0,5; 1; 1,5$.



Фиг. 4. Средни стойности на грешките при използване на (4.6) [2] при различни стойности на K и n



Фиг. 5. Средноквадратичните на грешките при използване на (4.6) [2] при различни стойности на K и n

От получените резултати за средните стойности и средноквадратичното отклонение на грешките може да се направи изводът, че за България е най-подходящо $K=0,25$ и $n=1$. Най-големи са грешките при среден период на превишение 5 години. При 25 и 100 години разликата е малка. Това дава основание да се препоръча при малки периоди на превишение да се използва по-точно решение като описаните в точка 2.

5. Заключение

Въвеждането на БДС EN 1991-1-4 ще повиши надеждността на конструкциите у нас. Това особено се отнася за сградите с леки покриви. Много благоприятно ще се отрази на сигурността на детайлите за закрепване на стенните и покривни панели в участъците близко до ръбовете и ъглите.

Значително по-големият обем и използването на редица съвременни резултати от научните изследвания в тази област в EN 1991-1-4 е сериозно предизвикателство пред проектиращите инженери.

ЛИТЕРАТУРА

1. BS 6399 Part 2 Code of practice for wind loads, 1997
2. DIN 1055-4 Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 4 – Windlasten, Entwurf, 2001
3. EN 1991-1-4:2005. Eurocode 1. Actions on structures. General actions. Wind loads
4. Indian Standards Code of Practice for Design Loads (other than Earthquake) for Buildings and Structures, Part-3: Wind Loads,(draft).
5. Lungu D., C. Arion *Extreme*. Wind and Snow loads for structural design, COST Action C26 Urban habitat constructions under catastrophic events, WG 4 Meeting in Delft, 2006.
6. Niemann H.J. The European wind loading standard: provisions and their background, Journal of Wind & Engineering, Vol. 5, No. 2 July 2008.

7. NP 082-2004: Cod de proiectare privind bazele proiectarii si actiuni asupra constructiilor. Actiunea vântului.
9. Report on the Calibration of Eurocode for wind loading (BSEN 1991-1-4) and its UK National Annex against the current UK wind code (BS 6399: Part2)
10. БДС EN 1990:2002 Еврокод 0. Основи на конструктивното проектиране
11. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. М.: Мир, 1965.
12. Наредба № 3 от 21 юли 2004 г. за основните положения за проектиране на конструкции на строежите и за въздействията върху тях (ДВ, бр. 92 от 2004 г.)
13. Натоварвания и въздействия върху сгради и съоръжения. С. 1990
14. СН и П Нагрузки и воздействия. (Первая редакция) Федеральное агентство по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству, Москва, 2007

A SPECIAL CASES IN WIND LOADS ASSESSMENT IN NEW EDITIONS OF SOME DESIGN CODES

I. Totev⁴, V. Yakov⁵, P. Totev⁶

Keywords: *wind loads, design codes, linear regression*

Research area: *structural engineering*

ABSTRACT

Some differences in wind loads assessment on the construction works in Bulgarian load design code [12], EN 1991-1-4 [3], DIN 1055 [2] and drafts of Russian [14] and Indian [4] codes are discussed.

They are analyzed the problems, related with use of meteorological data from anemometers, measuring velocities up to 20 m/s. A software solution is proposed for processing of annual wind maxima data.

The results obtained from calculation procedures for a gust peak wind load in a function of height above the ground in some design codes are compared.

Comparisons are made of aerodynamic coefficients in edges zones of buildings in the mentioned above design codes.

Some propositions are made for Bulgarian National Annex to EN 1991-1-4.

⁴ I. Totev, Assoc. Prof. PhD, UACEG, itotev_fce@uacg.bg

⁵ V. Yakov, Ass. Prof., UACEG, vny@mail.bg

⁶ P. Totev, plamen.totev@yahoo.com