

Получена: 15.09.2017 г.

Приета: 05.12.2017 г.

## ОТНОСНО НОРМАТИВНАТА БАЗА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВЪЗДЕЙСТВИЯТА ОТ ОБЛЕДЯВАНЕ ВЪРХУ ЛЕКИ МЕТАЛНИ СЪОРЪЖЕНИЯ

С. Жекова<sup>1</sup>

*Ключови думи:* атмосферно обледяване, скреж, стъкловиден лед, нормативно осигуряване, мачти

### РЕЗЮМЕ

Докладът разглежда основни проблеми, срещани при определянето на натоварване от атмосферно обледяване върху леки стоманени решетъчни конструкции в съответствие с нормативните методики, използвани в редица страни и международния стандарт ISO 12494. Дискутира се наборът от параметри, необходими за дефиниране на въздействието и различията в тяхното определяне. Анализът е съпроводен с примери и съпоставка.

### 1. Въведение

Атмосферното обледяване е климатично въздействие, имащо решаващо значение при проектирането на леки стоманени конструкции, съставени от елементи с малки диаметри, стройни решетъчни пръти, въжени обтяжки. Пример за такива конструкции са метеорологичните мачти с големи височини.

В [1] е представена една цялостна реализация на български продукт мобилни ветроизмервателни стоманени мачти с височини в интервала от 80 до 105 m.

В [2] се разглежда и анализира незадоволителното състояние на проблема атмосферно обледяване в българската нормативна уредба, действаща към 2009-та година. Последствията от това за метеорологични мачти с големи височини, претърпели авария през 2012 год. в резултат на екстремно обледяване, са коментирани в [3].

---

<sup>1</sup> София Жекова, инж. докторант, кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: s.zhekova@link-bg.net

В периода 2009 – 2017 год. фамилията ветроизмервателни мачти, разработена от „Линк“ ООД и „СМЕ Уинд“ ЕООД беше допълнена с нови височини от 125 и 140 m, и намери реализация в повечето Европейски страни, САЩ, Канада, Грузия, Тайван, Тунис, Аржентина и др. Това изведе необходимостта проектната документация на тези съоръжения, изготвена съгласно [4], [5], [6] да бъде адаптирана и съпоставена с норми за натоварване и проектиране в множество други държави, а проблемът за нормативното осигуряване при атмосферно обледяване да бъде разгледан в световен мащаб.

## 2. Кратък обзор на състоянието на проблема

От инженерна гледна точка, за определяне на товара от атмосферно обледяване върху строителни конструкции е необходимо да съществува както нормативно разработена методика, така и нормативно определени характеристични стойности на базов параметър на въздействието.

Най-пълна и в завършен вид методика за определяне на товара от обледяване е налична в международният стандарт [6]. На нея се позовава европейският норматив [7], респективно и България като членка на Европейския съюз и след влизане в сила на [8]. За да бъде приложима тази методика е необходимо да се разполага с национално определени стойности на базовия параметър на обледяването. Отворен остава въпросът пред всички държави членки на Европейския съюз за изготвяне на необходимите карти.

Такава карта у нас до ден днешен не е разработена, а вместо това в [9] четем:

*„НА.2.31 Точка С.2 Натоварване от обледяване, алинея (1)*

*Територията на страната все още не е картирана по отношение на класове на обледяване. Във връзка с основните параметри на обледяването (в частност класовете лед: стъкловиден „ICG“ и от скреж „ICR“) необходимите данни за конкретни строителни площадки могат да се получават от НИМХ при БАН, както и от метеорологичните служби на енергетиката и авиацията“.*

На практика България е една от малкото държави неразполагащи с необходимата карта, което затруднява проектирането на съоръжения, чувствителни към товара от обледяване.

## 3. Необходимост от адекватна оценка на заскрежаването

За целите на конструктивното проектиране са дефинирани два вида обледяване – стъкловиден лед и скреж. Тук няма да се спираме подробно на спецификата на тяхното образуване, форма, плътност и др., които са разгледани подробно в [2] и [6].

При обледяването от скреж на мачти с решетъчен ствол се наблюдава взаимно нарастване на формите на обледяване върху отделните пръти и достигане до значително по-големи площи, подложени на ветровото въздействие, в сравнение с обледяването от стъкловиден лед (фиг. 1). Този факт прави натоварването от скреж върху мачти, в случай на неговото проявление, значително по-опасно от стъкловидния лед, въпреки че последният има по-голяма плътност и собствено тегло от скрежа.

Въпреки че в [6] съществува достатъчно разработена методика за определяне на товар от скреж, в нормативните предписания на редица страни се наблюдава масовото му игнориране. За обледяването от скреж се говори само информативно, но липсват конкретни данни за базовия му параметър, което е един недостатък на действаща нормативна база.



**Фиг. 1. Метеорологична мачта при интензивно обледяване от скреж**

От разглежданите в доклада нормативи, единствено немските [10] и [11] под някаква форма третират товар от скреж, при което обаче въвеждат доста консервативни стойности за нивата на обледяване при кули и мачти, а именно (цитат от [11]) „Оценката на заскрежаването е значително по-сложна и затова може да се приеме пълно запълване на мачтата от скреж“.

Такива нива на заскрежаване са сравними със 7-ми клас на обледяване при дефинирани общо 10 класа съгласно класификацията на [6], което би било оправдано във високопланински региони или открити местности, разположени на голяма надморска височина.

Този подход в някои случаи може да доведе до излишно тежки конструктивни решения, и на практика отново отказва да предложи адекватно решение на проблема.

Поради изложените по-горе факти, по-нататък анализът на изложението ще се свързва само със стъкловиден лед.

#### **4. Различия в дефинирането на базовия параметър при стъкловидно обледяване**

Базовият параметър на въздействието от стъкловидно обледяване е дебелината на натрупаното ледено покритие, измервана перпендикулярно към повърхността на елемента.

Множество фактори оказват влияние върху еднородността на редицата данни, получена при дългогодишни измервания в метеорологичните станции, чрез която се формира характеристикната стойност на базовия параметър на обледяване. Между тях са вид, форма и разположение в пространството на базовия колектор, категория на терена и др.

Всички разглеждани в доклада нормативи са категорични, че базовият колектор трябва да бъде разположен на височина 10 m над земната повърхност, но в [6] той представлява цилиндър с диаметър 30 mm, в [12] диаметърът му е 10 mm, а в останалите нормативи не се коментира неговата форма, размери и ориентация в пространството, още по-малко пък за изискването на [6] да се върти бавно около оста си. Този факт може да доведе до съществени различия в стойностите като се има предвид, че порядъкът на размерите, посочени по-горе (10 до 30 mm) за напречното сечение на цилиндричен прът са в диапазона, в който се очаква при едни и същи климатични условия да се наблюдават различни дебелини на леденото натрупване (вж. т. 6).

Всички разглеждани нормативи определят 50-годишен период на повторение за характеристикната стойност на базовия параметър, с изключение на руския правилник [12], където той е 5 години.

Само в [13], [14] и [15] се отчита влияние на категорията на терена.

От горното следва, че още на ниво базов параметър са налице условия за различия в стойностите, а оттам и за нормативно генерираната надеждност при въздействието от атмосферно обледяване.

## 5. Относно прилагането на височинен коефициент

В [6] се отбелязва, че масата на леда може да се измени съществено с нарастване на височината над земната повърхност. „В непосредствена близост до земната повърхност може да няма обледяване, но нарастването на леда на по-високите нива да е значително, въпреки че може да се наблюдава и обратната ситуация“, [6].

Въпреки че понастоящем не са създадени достатъчно опростени и надеждни модели за отчитане на този ефект, [6] предлага да се въведе височинен коефициент, който увеличава масата на леда при височина над земната повърхност  $H$ , по следната формула:

$$K_h = e^{0,01H}. \quad (1)$$

В забележка се уточнява, че този коефициент може да се прилага към всички видове лед (стъкловиден лед и скреж), ако не са налице други данни.

Руският норматив [12] въвежда височинен коефициентът  $k$  (вж. табл. 1), който се прилага към дебелината (а не както по-горе към масата) при стъкловиден лед.

**Таблица 1. Височинен коефициент  $k$ , съгласно [12]**

$z$ , <b>m</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>70</b>	<b>100</b>
$k$	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

Канадският правилник [13] въвежда следния височинен коефициент  $K_{iz}$ , прилаган към дебелината на стъкловиден лед:

$$K_{iz} = \left( \frac{H_k}{10} \right)^{0,1}, \quad \text{при } 0,9 \leq K_{iz} \leq 1,25, \quad (2)$$

където  $H_k$  е височина над земната повърхност.

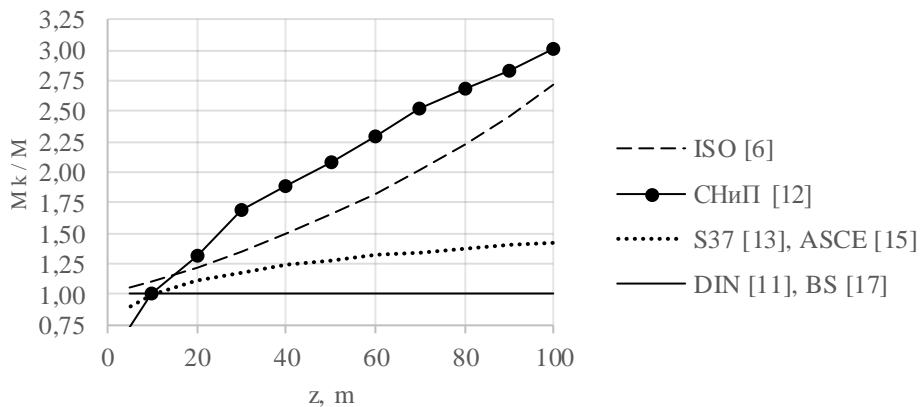
По същество (2) представлява степенна функция на скоростния профил на вятъра, за базовата категория терен. Следователно тук е заложена идеята, че увеличението на дебелината на леда по височина ще бъде пропорционално на увеличението на средната скорост на вятъра.

В американските нормативи [14] и [15] също се прилага формула (2), като разликата е само в горната стойност на коефициента,  $K_{iz} \leq 1,4$ .

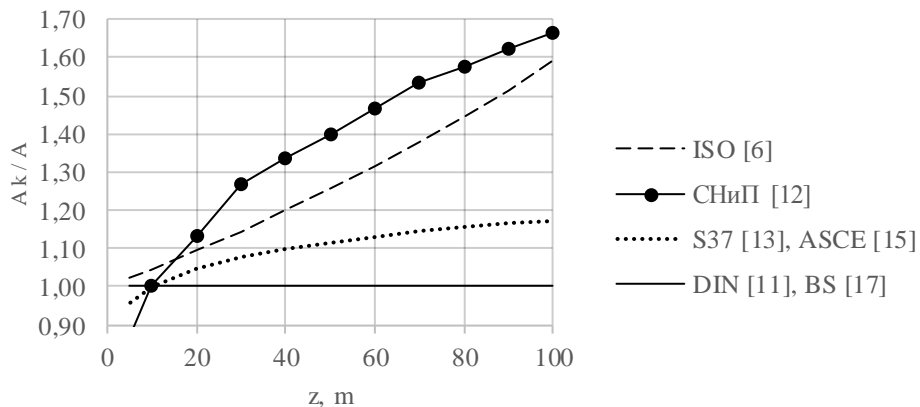
В британските [16], [17] и немските [10], [11] версии на Еврокод, височинен коефициент не се определя.

Последните се разграничават от предписанията на Еврокод, като чрез националните си приложения въвеждат без изменение методики, съществували в техни по-стари нормативни документи.

На фиг. 2 и фиг. 3 са представени резултати за изменението на масата на леда и на обледената площ за  $m'$  при кръгов цилиндър с диаметър  $d = 30$  mm, при височина над земната повърхност  $z$  изменяща се от 5 до 100 m, базова дебелина на леда  $t_{i,b} = 30$  mm и обемно тегло  $\gamma = 900 \text{ kg/m}^3$ . С „ $M_k$ “ и „ $A_k$ “ са означени съответно масата на леда и обледената площ за  $m'$ , изчислени с отчитане на височинен коефициент, съгласно съответния норматив. Диаграмите представят техните стойности, нормализирани съответно към „ $M$ “ и „ $A$ “, с които са означени масата на леда и обледената площ без влиянието на височинен коефициент.



**Фиг. 2.** Влияние на височинния коефициент върху масата на леда при цилиндър с диаметър  $d = 30$  mm и базова дебелина на леда  $t_{i,b} = 30$  mm



**Фиг. 3.** Влияние на височинния коефициент върху обледената площ при цилиндър с диаметър  $d = 30$  mm и базова дебелина на леда  $t_{i,b} = 30$  mm

Видно от представените графики, влиянието на височинния коефициент е съществено. В резултат само на него и различните методи за неговото изчисление, за разглеждания пример на височина над земната повърхност  $z = 100$  m, различията достигат 3 пъти по отношение на масата на леда и 1,67 пъти за обледената площ на цилиндъра за линеен метър.

## 6. Относно влиянието на големината на елемента

В [6] се подчертава, че „ледът се образува по-бързо върху тънък проводник, отколкото върху дебел такъв. Обаче ако продължителността на натрупване е достатъчно голяма, размерите на натрупания лед ще бъдат приблизително еднакви“. Това е така, тъй като веднъж обледено напречното сечение на елемента нараства, а това оказва влияние върху по-нататъшното развитие на обледяването. Описаният ефект важи за елементи с диаметър на сечението до около 70 – 80 mm.



**Фиг. 4.** Стъкловиден лед върху анкерна група  
въжета с обрушени парчета лед от високите нива

По нататък в [6] четем: „Специфични предмети като кабели, обтяжки на мачти, елементи на антени, прътови конструкции и други подобни могат да бъдат изложени на обледяване с много по-голяма интензивност, отколкото предметите с по-голям диаметър и таква с масивна конструкция.“ Въпреки това обаче в методиката на [6] липсва коефициент, който да отчита такова влияние.

В руския норматив [12] е дефиниран коефициентът  $\mu_1$ , с който се умножава базовата дебелина при стъкловиден лед за

отчитане на тези ефекти. Стойностите на  $\mu_1$  при различни диаметри  $D$  на цилиндрично сечение са представени в табл. 2.

Подобни стойности се получават и за съответния коефициент на английските норми [17]  $K_i$  (табл. 2), който се определя по:

$$K_i = \left( \frac{2}{3} + \frac{4}{D} \right) \leq 1,2, \quad (3)$$

където  $D$  е диаметър на елемент с кръгло сечение, mm.

**Таблица 2.** Коефициент, отчитащ големината на предмета, [12] и [17]

$D$ , mm	5	10	20	30	50	70
$\mu_1$ по [12]	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
$K_1$ по [17]	1,20	1,07	0,87	0,80	0,75	0,72

Останалите разглеждани в доклада нормативи не дефинират подобен коефициент.

Видно от табл. 2 при цилиндри с диаметър 70 mm ще се получат разлики в дебелината на леденото покритие достигащи 40% в сравнение със случая, когато такъв ефект не се отчита. При  $D < 10$  mm, (сравним с опорните въжета от разглежданият клас мачти) – обратно, наблюдава се увеличение на базовата дебелина на леда.

## 7. Влияние на други фактори

В отделни нормативи са налице и други фактори, оказващи влияние при определяне на изчислителната дебелина при стъкловиден лед.

Така например в [17] се отчита влиянието на надморската височина, като при ниво над 200 m н.в. дебелината на леда се увеличава с 4 mm за всеки следващи 100 m н.в.

В американските нормативи [14] и [15] се отчита влиянието на топографски фактор в случаите на локални хълмове или препятствия.

В останалите дискутирани нормативи подобни ефекти не се разглеждат.

## 8. Заключение

От представения кратък обзор на нормативното осигуряване у нас и в световен мащаб по проблемите на определянето на товара от атмосферно обледяване върху строителни конструкции може да се направи заключението, че съпоставка между действащите нормативни документи от [4] до [17] е по същество невъзможна, тъй като:

- са налице различия още на ниво дефиниция на базовия параметър на обледяване;
- използват се различен набор от параметри, дефиниращи въздействието, което води до съществени различия в крайните резултати. В най-голяма степен това се отнася до приложението на височинен коефициент.

Почти всички нормативи игнорират състоянието на атмосферно заскрежаване, което за разглеждания клас леки стоманени решетъчни мачти е почти винаги меродавно.

В допълнение на горното, България е една от малкото държави, които все още не разполагат с нужната карта за райониране на страната по базов параметър на обледяването, което внася сериозни затруднения при проектирането на конструкции, чувствителни към това атмосферно въздействие.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Линков, Г., С. Жекова.* Мобилни ветроизмервателни стоманени мачти с височина по-голяма от 80 m и едно реализирано тяхно решение. // Годишник на УАСГ, том XLIII, свитък V, 2006 – 2008.

2. *Линков, Г., С. Жеков.* Натоварване от обледяване и неговото нормативно осигуряване. // Годишник на УАСГ, свитък VII, том XLIV, 2009 г.

3. *Жекова, С.* Стоманени ветроизмервателни мачти подложени на едновременното действие на вятър и обледяване. Международна юбилейна научно-приложна конференция УАСГ, 15-17.11, 2012, том 2.

4. БДС EN 1993-3-1: Еврокод 3. Проектиране на стоманени конструкции. Част 3-1: Кули, мачти и комини. Кули и мачти.

5. БДС EN 1993-3-1/NA: Еврокод 3. Проектиране на стоманени конструкции. Част 3-1: Кули, мачти и комини. Кули и мачти. Национално приложение на България.

6. ISO 12494:2017 Атмосферно обледяване на строителните конструкции.

7. EN 1993-3-1; Eurocode 3: Design of steel structures-Part3-1: Towers, masts and chimneys –Towers and masts.

8. Наредба № РД-02-20-19 от 29.12.2011 г. за проектиране на строителните конструкции на строежите чрез прилагане на европейската система за проектиране на строителни конструкции.

9. БДС EN 1993-3-1/NA: Еврокод 3. Проектиране на стоманени конструкции. Част 3-1: Кули, мачти и комини. Кули и мачти. Национално приложение на България.

10. DIN EN 1993-3-1; Eurocode 3: Design of steel structures-Part3-1: Towers, masts and chimneys – Towers and masts.

11. DIN EN 1993-3-1/NA: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten-Teil 3-1 Türme, Maste und Schornsteine – Türme und Maste. Nationaler Anhang, 12. 2010.

12. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Министерство регионального развития Российской Федерации, Москва, 2011.

13. S37-13 Antennas, towers, and antenna-supporting structures. Canadian Standards Association, November, 2013.

14. ANSI/TIA-222 G-2005, Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas. Telecommunications Industry Association, Standards and Technology Department, Arlington ,VA 22201, USA.

15. SEI/ASCE 7-02, Minimum Design Loads for Buildings and other Structures. American Society of Civil Engineering, Second Edition, 49 CRF 193.201356.

16. BS EN 1993-3-1; Eurocode 3: Design of steel structures-Part3-1: Towers, masts and chimneys – Towers and masts.

17. BS NA EN 1993-3-1 (2006) UK National Annex to Eurocode 3. Design of steel structures. Towers, masts and chimneys. Towers and masts.

## **PECULIARITIES OF THE NORMATIVE PROVISIONS REGARDING ATMOSPHERIC ICING ON LIGHTWEIGHT STEEL STRUCTURES**

**S. Zhekova<sup>1</sup>**

*Keywords: atmospheric icing, rime ice, glaze ice, normative provisions, mast*

### **ABSTRACT**

This paper brings up major problems that could be encountered in determining the load due to atmospheric icing on lightweight steel lattice structures in accordance with the normative methodologies used in a number of countries and the international standard ISO 12494. The set of parameters needed to define the load and the differences in their definition are under discussion. Examples, juxtapositions and analysis are provided.

---

<sup>1</sup> Sofiya Zhekova, Eng., PhD student, Dept. “Steel, Timber and Plastic Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: s.zhekova@link-bg.net