

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

**ОБМЕРЗАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ
ВНАСЛІДОК АТМОСФЕРНОГО ВПЛИВУ
(ISO 12494:2001, IDT)**

ДСТУ Б ISO 12494:201X

(Проект, перша редакція)

**Київ
Мінрегіон України**

201X

ПЕРЕДМОВА

1 ВНЕСЕНО: Товариство з обмеженою відповідальністю «Український інститут сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського» ТК 301 «Металобудівництво» / ПК-1 «Проектування металевих конструкцій»

ПЕРЕКЛАД І НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ РЕДАГУВАННЯ: **В. Адріанов, В. Артюшенко, В. Гаврилова, А. Глінка, В. Гордєєв, д.т.н., О. Кордун** (науковий керівник), **О. Шимановський, д.т.н.**

2 НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від «___» _____ 20__ № _____

3 Національний стандарт відповідає ISO 12494:2001 Atmospheric icing of structures (Обмерзання будівельних конструкцій внаслідок атмосферного впливу).

Ступінь відповідності – ідентичний (IDT)

Переклад з англійської (en)

Цей стандарт видано з дозволу CEN

4 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

Право власності на цей документ належить державі.

Цей документ не може бути повністю чи частково відтворений, тиражований і розповсюджений як офіційне видання без дозволу Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України
Офіційний видавець нормативних документів у галузі будівництва і промисловості будівельних матеріалів Мінрегіону України
Державне підприємство «Укрархбудінформ»

© Мінрегіон України, 201X

ЗМІСТ

Національний вступ.....	V
Вступ.....	1
1 Сфера застосування.....	3
1.1 Загальні положення.....	3
1.2 Використання.....	4
2 Нормативні посилання.....	6
3 Терміни та визначення понять.....	7
4 Позначки.....	9
5 Впливи обледеніння.....	10
5.1 Загальні положення.....	10
5.2 Статичні ожеледні навантаження.....	11
5.3 Дія вітру на обледенілі конструкції.....	12
5.4 Динамічні дії.....	13
5.5 Пошкодження внаслідок падіння льоду.....	14
6 Атмосферне обледеніння. Теоретичні основи.....	16
6.1 Загальні положення.....	16
6.2 Типи обледеніння.....	19
6.3 Топографічні впливи.....	27
6.4 Зміни обледеніння за висотою над поверхнею землі.....	29
7 Обледеніння конструкцій.....	30
7.1 Загальні положення.....	30
7.2 Льодові класи.....	32
7.3 Визначення льодового класу, IC.....	33
7.4 Ожеледь.....	35
7.5 Паморозь.....	36
7.6 Паморозь на ґратчастих конструкціях.....	47
8 Вітрові дії на обледенілі конструкції.....	53
8.1 Загальні положення.....	53
8.2 Окремі елементи.....	54
8.3 Кут падіння.....	65
8.4 Ґратчасті конструкції.....	66
9 Комбінований вплив ожеледних і вітрових навантажень.....	69
9.1 Загальні положення.....	69
9.2 Комбіновані навантаження.....	70
10 Незбалансоване ожеледне навантаження на відтяжки.....	73
11 Практичні міркування щодо падаючого льоду.....	75
Додаток А – Рівняння, використовувані у даному стандарті.....	78
Додаток В – Стандартні вимірювання дій ожеледі.....	82
Додаток С – Теоретичне моделювання обледеніння.....	93

CONTENTS

Introduction.....	1
1 Scope.....	3
1.1 General.....	3
1.2 Application.....	4
2 Normative references.....	6
3 Terms and definitions.....	7
4 Symbols.....	8
5 Effects of icing.....	10
5.1 General.....	10
5.2 Static ice loads.....	10
5.3 Wind action on iced structures.....	12
5.4 Dynamic effects.....	13
5.5 Damage caused by falling ice.....	14
6 Fundamentals of atmospheric icing.....	15
6.1 General.....	15
6.2 Icing types.....	19
6.3 Topographic influences.....	26
6.4 Variation with height above terrain.....	28
7 Icing on structures.....	30
7.1 General.....	30
7.2 Ice classes.....	31
7.3 Definition of ice class, IC.....	32
7.4 Glaze.....	34
7.5 Rime.....	35
7.6 Rime on lattice structures.....	46
8 Wind actions on iced structures.....	51
8.1 General.....	51
8.2 Single members.....	53
8.3 Angle of incidence.....	64
8.4 Lattice structures.....	65
9 Combination of ice loads and wind actions.....	68
9.1 General.....	68
9.2 Combined loads.....	69
10 Unbalanced ice load on guys.....	72
11 Falling ice considerations.....	74
Annex A (informative) – Equations used in this International Standard.....	77
Annex B (informative) – Standard measurements for ice actions.....	81
Annex C (informative) – Theoretical modelling of icing.....	92

Додаток D – Кліматична оцінка льодових класів за метеорологічними даними.....	121	Annex D (informative) – Climatic estimation of ice classes based on weather data.....	120
Додаток E – Рекомендації щодо застосування цього стандарту.....	129	Annex E (informative) – Hints on using this International Standard.....	128
Бібліографія.....	139	Bibliography.....	138

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей стандарт є тотожним перекладом ISO 12494:2001 Atmospheric icing of structures (ISO 12494:2001 Обмерзання будівельних конструкцій внаслідок атмосферного впливу).

ISO 12494 підготовлено Технічним комітетом ISO/TC 98 «Основи проектування конструкцій» («Bases for design of structures»), Підкомітет SC 3 «Навантаження, зусилля та інші впливи» («Loads, forces and other actions»), секретаріатом якого керує JISC.

До національного стандарту долучено англomовний текст.

На території України як національний стандарт діє ліва колонка тексту ДСТУ Б ISO 12494:201X «Обмерзання будівельних конструкцій внаслідок атмосферного впливу (ISO 12494:2001, IDT)», викладена українською мовою.

Відповідно до ДБН А.1.1-1-93 «Система стандартизації та нормування в будівництві. Основні положення» цей стандарт відноситься до комплексу нормативних документів В.1.2. «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів».

Стандарт містить вимоги, які відповідають чинному законодавству України.

Технічний комітет, відповідальний за цей стандарт, – ТК 301 «Металобудівництво» / ПК-1 «Проектування металевих конструкцій».

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

- слова «цей міжнародний стандарт» замінено на «цей стандарт»;
- структурні елементи стандарту: «Обкладинку», «Передмову», «Національний вступ», «Зміст» та «Бібліографічні дані» оформлено згідно з вимогами національної стандартизації України;
- у стандарті наведені «Національні пояснення», які виділені в тексті рамкою;
- з «Передмови до ISO 12494» у цей «Національний вступ» взяте те, що безпосередньо стосується цього стандарту;

- вилучено структурний елемент Європейського стандарту «Передмова», оскільки він не містить елементів технічного змісту стандарту;
- позначки одиниць вимірювання відповідають серії стандартів ДСТУ 3651-97 «Метрологія. Одиниці фізичних величин»;
- національний довідковий додаток наведено як настанову для користувачів.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ
УКРАЇНИ**

INTERNATIONAL STANDARD

**ОБМЕРЗАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ
КОНСТРУКЦІЙ ВНАСЛІДОК
АТМОСФЕРНОГО ВПЛИВУ**

First edition 2001-08-15.

ICS 91.080.01

**ОБЛЕДЕНЕНИЕ СТРОИТЕЛЬ-
НЫХ КОНСТРУКЦИЙ В
РЕЗУЛЬТАТЕ АТМОСФЕРНОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ**

English version

Atmospheric icing of structures

ISO 12494:2001

**ATMOSPHERIC ICING OF
STRUCTURES**

Чинний від _____

2001

ВСТУП

INTRODUCTION

Цей стандарт описує впливи обледеніння і може бути застосований для проектування деяких типів будівельних конструкцій.

This International Standard describes ice actions and can be used in the design of certain types of structures.

Він має використовуватися разом з ISO 2394, а також із відповідними стандартами CEN.

It should be used in conjunction with ISO 2394, and also in conjunction with relevant CEN standards.

Цей стандарт у деяких аспектах відрізняється від інших стандартів, оскільки тема є мало досліджена і доступної інформації недостатньо. Отже, стандарт містить більше пояснень, ніж зазвичай, а також додаткові описи та рекомендації в додатках.

This International Standard differs in some aspects from other International Standards, because the topic is poorly known and available information is inadequate. Therefore, it contains more explanations than usual, as well as supplementary descriptions and recommendations in the annexes.

Проектувальники можуть виявити, що вони володіють повнішою

Designers might find that they have better information on some specific

інформацією з деяких тем, ніж це наводить даний стандарт. Це може бути справедливим, особливо в майбутньому. Однак вони повинні бути дуже обачними у тому, щоб не використовувати цей стандарт лише частково, але тільки цілком.

Основна мета цього стандарту – спонукати проєктувальників до міркувань щодо можливого обледеніння будівельної конструкції та до подальших дій з цього приводу.

В міру того, як у найближчі роки з'являтиметься більше даних про природу атмосферного обледеніння, потреба в оновленні цього стандарту ставатиме більш актуальною, ніж зазвичай.

Настанови наводяться у вигляді Примітки після тексту, до якого вони стосуються. Вони відрізняються від основного тексту розміром шрифту. Ці настанови містять цінну інформацію, яка може бути корисною для практичного проєктування і яка презентує результати, які, можливо, не є достатньо достовірними в межах цього стандарту, але можуть стати корисними в багатьох випадках, допоки в майбутньому не з'явиться

topics than those available from this International Standard. This may be true, especially in the future. They should, however, be very careful not to use only parts of this International Standard partly, but only as a whole.

The main purpose of this International Standard is to encourage designers to think about the possibility of ice accretions on a structure and to act thereafter.

As more information about the nature of atmospheric icing becomes available during the coming years, the need for updating this International Standard is expected to be more urgent than usual.

Guidance is given as a NOTE, after the text for which it is a supplement. It is distinguished from the text by being in smaller typeface. This guidance includes some information and values which might be useful during practical design work, and which represents results that are not certain enough for this International Standard, but may be useful in many cases until better information becomes available in the future.

більш достовірні інформація.

Тому радо пропонуємо проектувальникам користуватися цими настановами за умови, що усвідомлюючи наміри щодо їх застосування, вони будуть також інформовані про результати нових досліджень та/або вимірювань.

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Загальні положення

В даному стандарті розглядаються загальні принципи визначення ожеледного навантаження на конструкції, типи яких наведено в 1.2.

Якщо цей чи інший стандарт або рекомендація не охоплює які-небудь конструкції, проектувальники можуть скористатися концепцією цього стандарту. При цьому користувач повинен завжди уважно ставитися до застосовності цього стандарту (рекомендації) до тієї чи іншої конструкції.

Практичне застосування даних цього стандарту ґрунтується на певних знаннях параметрів майданчика, на якому знаходиться конструкція. Наприклад, необхідно знати ступінь

Designers are therefore welcome to use information from the guidance notes, but they should be aware of the intention of the use and also forthcoming results of new investigations and/or measurements.

1 SCOPE

1.1 General

This International Standard describes the general principles of determining ice load on structures of the types listed in 1.2.

In cases where a certain structure is not directly covered by this or another standard or recommendation, designers may use the intentions of this International Standard. However, the user should always consider carefully the applicability of the standard (recommendation) to the structure in question.

The practical use of all data in this International Standard is based upon certain knowledge of the site of the structure. It is necessary to have information about the degree of «normal»

«нормального» обледеніння (тобто льодові класи) того чи іншого майданчика. На жаль, для багатьох районів така інформація відсутня.

Але навіть у таких ситуаціях цей стандарт може виявитися корисним, тому що місцеві метеослужби або інший кваліфікований персонал зможуть правильно розрахувати льодовий клас. Використання такої оцінки при проектуванні сприятиме підвищенню безпеки конструкції порівняно з випадками, коли проектом не передбачено жодного впливу обледеніння.

Увага! Надзвичайно важливо виконувати проектування з урахуванням навіть **мінімального обледеніння**, замість його **цілковитого ігнорування**; згодом питання правильної чи неправильної оцінки можливого обледеніння буде вже не таким важливим. Зокрема, можливе значне посилення вітрової дії внаслідок розширення зони впливу і збільшення коефіцієнта опору.

1.2 Використання

Цей стандарт може використовуватися для визначення маси ожеледного та вітрового

icing amounts (= ice classes) for the site in question. For many areas, however, no information is available.

Even in such cases this International Standard can be useful, because local meteorologists or other experienced persons should be able to, on the safe side, estimate a proper ice class. Using such an estimate in the structural design will result in a much safer structure, than designing without any considerations for problems due to ice.

CAUTION It is extremely important to design for **some ice** instead of **no ice**, and then the question of whether the amount of ice was correct is of less importance. In particular, the action of wind can be increased considerably due to both increased exposed area and increased drag coefficient.

1.2 Application

This International Standard is intended for use in determining ice mass and wind load on the iced structure for

навантаження на обледенілі
конструкції таких типів:

- щогли;
- башти;
- антени та антенні конструкції;
- ванти, відтяжки, відтяжні канати тощо;
- канатні дороги (підвісні дороги);
- конструкції гірськолижних підйомників;
- будівлі або їх частини, які можуть зазнати обледеніння;
- башти для спеціальних типів конструкцій, таких як лінії зв'язку, вітряні турбіни тощо.

Атмосферне обледеніння повітряних ліній електропередач розглядається стандартами ІЕС (Міжнародна електротехнічна комісія).

Цей стандарт повинен використовуватися разом із ISO 2394.

Примітка. Тут наведено деякі типові конструкції, але можливим є розгляд також інших типів. Проектувальники повинні визначити типи конструкцій, які виявляють схильність до непередбачуваного обледеніння, та діяти відповідним чином.

Також, в окремих випадках з урахуванням ожеледного навантаження повинні проектуватися

the following types of structure:

- masts;
- towers;
- antennas and antenna structures;
- cables, stays, guy ropes, etc.;
- rope ways (cable railways);
- structures for ski-lifts;
- buildings or parts of them exposed to potential icing;
- towers for special types of construction such as transmission lines, wind turbines, etc.

Atmospheric icing on electrical overhead lines is covered by IEC (International Electrotechnical Commission) standards.

This International Standard is intended to be used in conjunction with ISO 2394.

NOTE Some typical types of structure are mentioned, but other types might be considered also. Designers should think in terms of which type of structure is sensitive to unforeseen ice, and act thereafter.

Also, in many cases only parts of structures should be designed for ice loads, because they are more vulnerable

лише деякі частини конструкцій, якщо вони є найбільш уразливими елементами, а не вся конструкція.

Навіть якщо повітряні лінії електропередач належать до сфери дії стандартів ІЕС, за бажанням проектувальники можуть використувати цей стандарт для проектування щогл під повітряні лінії (які не розглядаються стандартами ІЕС).

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

Наступні нормативні документи містять положення, які, через посилання у цьому тексті, становлять положення даного стандарту. Для датованих посилань наступні поправки або редакції цих публікацій не застосовуються. Однак, сторони угоди, що укладається на базі цього стандарту, мають дослідити можливість застосування останніх редакцій нормативних документів, зазначених нижче. Для недатованих посилань застосовується остання редакція зазначеного нормативного документа (включаючи поправки). Члени ISO та ІЕС ведуть реєстри поточних чинних стандартів.

to unforeseen ice than is the whole structure.

Even if electrical overhead lines are covered by IEC standards, designers may use this International Standard for the mast structures to overhead lines (which are not covered by IEC standards) if they so wish.

2 NORMATIVE REFERENCES

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of ISO and IEC maintain registers of currently valid International Standards.

ISO 2394:1998 Загальні принципи надійності конструкцій;

ISO 4354:1997 Вітрові навантаження на конструкції.

3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

У цьому стандарті використовуються терміни та визначення, встановлені нижче.

3.1 відкладення

процес утворення льоду на поверхні об'єкта, в результаті чого конструкції зазнають обледеніння різного типу

3.2 коефіцієнт опору

аеродинамічний коефіцієнт об'єкта, використовується для розрахунку вітрового навантаження в напрямку вітру

3.3 ожеледь

чистий лід високої густини

3.4 ожеледне навантаження

вплив ожеледного відкладення на конструкцію у вигляді навантаження від власної маси льоду і вітрового навантаження на обледенілу конструкцію

3.5 льодовий клас IC

класифікація за характеристичним значенням ожеледного навантаження,

прДСТУ Б ISO 12494:201X

ISO 2394:1998, General principles on reliability for structures;

ISO 4354:1997, Wind actions on structures.

3 TERMS AND DEFINITIONS

For the purposes of this International Standard, the following terms and definitions apply.

3.1 accretion

process of building up ice on the surface of an object, resulting in the different types of icing on structures

3.2 drag coefficient

shape factor for an object to be used for the calculation of wind forces in the along-wind direction

3.3 glaze

clear, high-density ice

3.4 ice action

effect of accreted ice on a structure, both as gravity load (= self-weight of ice) and as wind action on the iced structure

3.5 ice class IC

classification of the characteristic ice load that is expected to occur within a mean

середній заданий період повторюваності якого на контрольному збірнику льоду в певному місці становить 50 років

return period of 50 years on a reference ice collector situated in a particular location

3.6 внутрішньохмарне обледеніння

обледеніння, викликане переохолодженням крапель води в хмарі або тумані

3.6 in-cloud icing

icing due to super-cooled water droplets in a cloud or fog

3.7 обледеніння внаслідок опадів

обледеніння, причинами якого можуть бути:

- a) крижаний дощ або мряка, чи
- b) скупчення мокрого снігу

3.7 precipitation icing

icing due to either

- a) freezing rain or drizzle, or
- b) accumulation of wet snow

3.8 період повторюваності

середня кількість років, протягом яких відбувається одне статистичне перевищення зазначеного явища

3.8 return period

average number of years in which a stated action statistically is exceeded once

Примітка. Тривалий період повторюваності означає низьку інтенсивність трансгресії (тобто явище відбувається рідко), а короткочасний період повторюваності означає високу інтенсивність трансгресії (тобто явище відбувається часто).

NOTE A long return period means low transgression intensity (occurring rarely) and a short return period means high transgression intensity (occurring often).

3.9 паморозь

білий лід, що містить розчинене повітря

3.9 rime

white ice with in-trapped air

4 ПОЗНАКИ

C_i – Коефіцієнт опору обледенілого об'єкта, 1

$C_{0,3}$ – Коефіцієнт опору для великих об'єктів (ширина > 0,3 м), 1

C_0 – Коефіцієнт опору об'єкта, вільного від льоду, 1

D – Діаметр крижаного наросту або загальна ширина об'єкта, включаючи ожеледь, мм

F_w – Вітрове навантаження, Н/м

H – Висота над поверхнею землі, м

k – Коефіцієнт для динамічного тиску від вітрової дії, 1

K_h – Коефіцієнт висоти споруди, 1

L – Довжина крижаного наросту, виміряна з навітряного боку, мм

m – Маса ожеледних відкладень на метр довжини, кг/м

m_w – Маса льоду на великих об'єктах, кг

T – Період повторюваності, рік

t – Товщина стінки ожеледі, мм

t_a – Температура повітря, °С

W – Ширина об'єкта (включаючи ожеледь), перпендикулярна напрямку вітру, мм

α – Кут нахилу між напрямком вітру і поздовжньою віссю об'єктів, °

4 SYMBOLS

C_i Drag coefficient of an iced object, 1

$C_{0,3}$ Drag coefficient for large objects (width > 0,3 m), 1

C_0 Drag coefficient of an object without ice, 1

D Diameter of accreted ice or total width of object including ice, mm

F_w Wind force, N/m

H Height above terrain, m

k Factor for velocity pressure from wind action, 1

K_h Height factor, 1

L Length of ice vane measured in windward direction, mm

m Mass of accreted ice per meter unit length, kg/m

m_w Ice mass for ice on large objects, kg

T Return period, year

t Ice thickness, mm

t_a Air temperature, °С

W Width of object (excluding ice) perpendicular to wind direction, mm

α Angle of incidence between wind direction and the objects longitudinal

γ – Густина льоду, кг/м³
 θ – Кут впливу вітру у вертикальній площині, °
 τ – Коефіцієнт суцільності: площа відкритої ділянки загальна площа ділянки в межах зовнішніх границь
 1
 τ' – Збільшене значення τ , викликане обледенінням, для розрахунків, 1
 φ – Коефіцієнт комбінування, 1

axis, °
 γ Density of ice, kg/m³
 θ Angle of wind incidence in a vertical plane °
 τ Solidity ratio: exposed panel area total panel area within outside boundaries
 1
 τ' Increased value of τ caused by icing to be used in calculations, 1
 φ Factor of combination, 1

5 ВПЛИВИ ОБЛЕДЕНІННЯ

5 EFFECTS OF ICING

5.1 Загальні положення

5.1 General

Впливи обледеніння – це підвищені вертикальні навантаження на обледенілу конструкцію і підвищений опір вітру в результаті збільшення площі поверхні, що зазнає вітрового впливу. Останнє може призвести до вітрових навантажень більших, ніж без обледеніння.

The general effects of icing are the increased vertical loads on the iced structure and increased wind drag caused by the increased wind-exposed area. The latter can lead to more severe wind loads than without icing.

Примітка. У даному розділі зображено механізм дії ожеледного навантаження на конструкцію. Це допоможе проектувальникам краще зрозуміти дане явище і дозволить їм використовувати даний стандарт навіть у випадках, не зазначених тут.

NOTE This clause describes the way the ice loads act on a structure, and this should enable designers to understand the background and to use this International Standard, even in cases which are not mentioned here.

5.2 Статичні ожеледні навантаження

Різні типи конструкцій виявляють більшу чи меншу чутливість до дії ожеледного навантаження, нижче наведено кілька прикладів:

а) Натягнуті сталеві троси, канати, відтяжки тощо, зазвичай дуже чутливі до ожеледного впливу; відповідно, це може призвести до значного підвищення сил натягу в цих елементах.

б) Тонкі ґратчасті конструкції, зокрема, щогли з відтяжками, чутливі до підвищених сил осьового стиску під впливом ожеледних відкладень на конструкції.

в) Антени та антенні конструкції легко піддаються перевантаженню під впливом ожеледного відкладення, якщо він не був передбачений при розрахунках. Зокрема, невеликі кріпильні деталі не витримують підвищеного навантаження від додавання інших впливів, тому що лід здатний подвоїти нормальне навантаження.

г) «Провисання льоду» на неконструкційних елементах може виявитися руйнівним.

5.2 Static ice loads

Different types of structure are more or less sensitive to varying aspects concerning ice action, and some examples on this are as follows.

a) Tensioned steel ropes, cables and guys, etc., are generally very sensitive to ice action, consequently tension forces in such elements can increase considerably in an iced condition.

b) Slender lattice structures, especially guyed masts, are sensitive to the increased axial compression forces from accreted ice on the structure.

c) Antennas and antenna structures can easily be overloaded by accreted ice, if this has not been foreseen. In particular, small fastening details are weak when increased load is added on top of other actions, because the ice may easily double the normal load.

d) «Sagging of ice» on non-structural elements can be harmful. Non-structural elements such as antennas and

Неконструкційні елементи, такі як антени і кабелі, можуть піддаватися впливу несподіваних навантажень від обледеніння, тому що лід провисає на цих елементах або здійснює на них певний тиск. Такий вплив може виявитися значно вищим, ніж звичайне ожеледне навантаження.

е) Навантаження від ожеледних відкладень може легко призвести до деформації або пошкодження елементів оболонки (обшивки тощо). Якщо лід не скинути до того, як його навантаження стане занадто великим, він може викликати пошкодження конструкцій.

5.3 Дія вітру на обледенілі конструкції

Такі конструкції як щогли і башти, разом із натягнутими сталевими канатами, вантами, відтяжками тощо, є чутливими до підвищеного опору вітру, викликаного обледенінням.

Дію вітру на обледенілі конструкції можна розраховувати за такими ж принципами, як і дію на конструкції, вільні від льоду. Однак і розміри конструкційних елементів, і їх коефіцієнти опору можуть

cables, may be exposed to unexpected ice load because the ice sags downwards and covers or presses on the elements. The ice action on these elements can then be substantially greater than the ice load normally accreted on them.

e) The load of accreted ice can easily deform or damage envelope elements (claddings, etc.), and damage also might occur if the ice has not fallen off before forces have grown too great.

5.3 Wind action on iced structures

Structures such as masts and towers, together with tensioned steel ropes, cables, mast guys, etc., are sensitive to increased wind drag caused by icing.

Wind action on iced structures may be calculated based on the same principles as the action on the ice-free structure. However, both the dimensions of the structural members and their drag coefficients are subject to changes.

змінюватися. Тому головною метою цього стандарту є встановлення належних значень:

- розмірів і ваги ожеледних відкладень,
- форми ожеледного відкладення і
- коефіцієнтів опору ожеледного відкладення.

5.4 Динамічні дії

Важливим фактором, що впливає на динамічну поведінку конструкції, є її власні частоти. Зазвичай власні частоти конструкції значно знижуються в умовах важкого обледеніння. Це має важливе значення при проведенні досліджень динамічних характеристик, оскільки низькі частоти є, як правило, критичними.

Крім цього, дослідження динамічних параметрів може знадобитися і у випадку змінення форми поперечного перерізу внаслідок ожеледного відкладення. Наприклад, ексцентрична форма поперечного перерізу ожеледного наросту на ванті або відтяжці може викликати аеродинамічну нестабільність, що призведе до виникнення сильних коливань (наприклад, галопування).

Therefore, the main purpose of this International Standard is to specify proper values for:

- dimensions and weight of accreted ice,
- shapes of accreted ice, and
- drag coefficients of accreted ice.

5.4 Dynamic effects

A significant factor influencing the dynamic behaviour of a structure is its natural frequencies. Normally the natural frequencies of a structure are decreased considerably if the structure is heavily iced. This is important in connection with dynamic investigations because the lower frequencies normally are the critical ones.

In addition, the change in cross-sectional shape due to the accreted ice may require dynamic investigations to be made. For example, the eccentric cross-sectional shape of ice on a cable or guy can cause aerodynamic instability resulting in heavy oscillations (e.g. galloping). Also, fully iced mast or tower sections can introduce vortex shedding, resulting in cross wind vibrations. Shedding of ice from a structure can

Крім цього, повністю обмерзлі секції щогл чи башт можуть викликати вихороутворення, що призведе до поперечних вітрових коливань. Осипання льоду з конструкції здатне викликати серйозні динамічні впливи і напруження в конструкції в залежності від типу конструкції, кількості і властивостей льоду. Такі динамічні впливи мають бути досліджені, якщо та чи інша конструкція виявиться чутливою до них. Враховуватися повинні також значні динамічні вібрації (див. розділ 10) внаслідок падіння льоду з сильно обледенілих відтяжок щогли.

Примітка. Дане явище вже призвело до повного руйнування дуже високих щогл із відтяжками.

5.5 Пошкодження внаслідок падіння льоду

Якщо конструкція обмерзла льодом, то рано чи пізно лід почне з неї падати, повністю або (що трапляється найчастіше) частинами.

Досвід показує, що падіння льоду починається зазвичай за підвищення температури. Як правило, ожеледне відкладення не відтає від конструкції, а відколюється і відпадає

cause severe dynamic effects and stresses in the structure, depending on the type of structure and the amount and properties of the ice. Such dynamic effects should be investigated if the structure in question is sensitive to those actions. For a guyed mast, the shedding of ice from heavily iced guys may introduce severe dynamic vibrations and should be considered; see clause 10.

NOTE This phenomenon has caused total collapses of very tall, guyed masts.

5.5 Damage caused by falling ice

When a structure is iced, this ice will sooner or later fall from the structure. The shedding of ice can be total or (most often) partial.

Experience shows that ice shedding typically occurs during increasing temperatures. Normally, accreted ice does not melt from the structure, but breaks because of small deflections,

уламками під впливом невеликих переміщень, вібрації тощо.

Уникнути падіння льоду практично неможливо, тому дане явище має враховуватися на стадії проектування і вибору майданчика під конструкцію.

Лід, що падає з великої висоти, може пошкодити конструкційні й неконструкційні (антени і т. і.) елементи конструкції. Оцінюючи ризик їх пошкодження, особливу увагу потрібно приділяти фактору висоти падіння льоду, оскільки що більше висота, то більше динамічні сили від льоду, що падає. Для захисту конструкцій від пошкодження або для мінімізації таких пошкоджень використовуються огорожувальні конструкції.

Примітка. Див. також 5.2 d) стосовно «провисання льоду» і розділ 10 про незбалансоване ожеледне навантаження на відтяжки, а також розділ 11 щодо падіння льоду з конструкцій.

vibrations, etc. and falls off in fragments.

It is extremely difficult to avoid such falling ice, so this should be considered during design and when choosing the site for the structure.

Damage can occur to structural or non-structural elements (antennas, etc.) when ice from higher parts fall and hit lower elements in the structure. The height of falling ice is an important factor when evaluating risks of damage, because a greater height means greater dynamic forces from the ice. A method of avoiding or reducing damage from falling ice is the use of shielding structures.

NOTE See also 5.2 d) about «sagging of ice» and clause 10 about unbalanced ice on guys, and clause 11 on considerations on ice falling from a structure.

6 АТМОСФЕРНЕ ОБЛЕДЕНІННЯ. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

6.1 Загальні положення

Поняття «атмосферне обледеніння» включає всі процеси, під час яких краплі води, що переміщуються в атмосфері або падають на землю у вигляді дощу, снігу або мокрого снігу, починають замерзати і прилипати до будь-якого об'єкта на відкритому повітрі.

У даному розділі розглядаються процеси обмерзання і типи обледеніння. Більш детальний теоретичний опис цих процесів наводиться в додатках С і D.

Примітка. На відміну від таких метеорологічних параметрів, як температура, опади, вітер і глибина снігу, наявні дані щодо обледеніння є вкрай обмеженими.

Широке різноманіття місцевих топографічних і кліматичних даних, а також інформація стосовно обледеніння ускладнюють нормування наслідків обледеніння.

Все це вимагає проведення відповідних досліджень на місцевому (національному) рівні, й такі дослідження повинні ґрунтуватися на положеннях цього стандарту (див.

6 FUNDAMENTALS OF ATMOSPHERIC ICING

6.1 General

The expression «atmospheric icing» comprises all processes where drifting or falling water droplets, rain, drizzle or wet snow in the atmosphere freeze or stick to any object exposed to the weather.

The accretion processes and resulting types of ice are described in this clause. The more theoretical explanation of the processes is given in annexes C and D.

NOTE Unlike other meteorological parameters such as temperature, precipitation, wind and snow depths, there is generally very limited data available about ice accretions.

The wide variety of local topography, climate and icing conditions make it difficult to standardize actions from ice accretions.

Therefore local (national) work has to be done, and such work should be based upon this International Standard (see annex B). It is urgent to be able to undertake comparisons between collected

додаток В). У терміновому порядку необхідно приступити до порівняння зібраних даних та обміну досвідом, оскільки це сприятиме підвищенню якості знань у цій сфері та накопиченню необхідної інформації з метою подальшого детального розроблення стандарту щодо обледеніння внаслідок атмосферного впливу.

Необхідно зібрати детальну інформацію стосовно періодичності обледеніння, його інтенсивності тощо.

З цією метою можна використовувати такі методи:

- А: збирання даних наявного досвіду.
- В: моделювання процесів ожеледоутворення на основі відомих метеорологічних даних.
- С: багаторічні прямі вимірювання параметрів ожеледі.

Починати дослідження слід за допомогою методу А, оскільки він дозволяє швидко зібрати необхідні дані. При цьому досліджуватися повинні різні типи конструкцій у різних місцевостях, щоб зібрати достатньо широкий спектр даних про періодичність та інтенсивність обледеніння. Для цього потрібно

прДСТУ Б ISO 12494:201X

data and to exchange experiences, because this will be a way to improve knowledge and data necessary for a future comprehensive International Standard for atmospheric icing.

Detailed information about icing frequency, intensity, etc. should be collected.

The following methods may do this.

- А: collecting existing experiences.
- В: icing modelling based on known meteorological data.
- С: direct measurements of ice for many years.

Method A is a good starting one, because it makes it possible to obtain quickly information of considerable value. However, it will be necessary to have different types of structures established on proper areas, to be able to collect sufficiently broad information on ice frequencies and intensities. Therefore experienced people in those fields should

провести опитування кваліфікованого персоналу, пов'язаного тим чи іншим чином із цією проблемою (наприклад, телекомунікаційні та енергетичні компанії, метеорологічні служби тощо). Саме з даного методу рекомендується починати дослідження з метою отримання результатів прямих вимірювань в рамках методу С.

Для методу В зазвичай потрібні додаткова інформація або передумови стосовно параметрів.

Принципи моделювання ожеледоутворення наведено в додатках С і D.

Для методу С повинні використовуватися стандартні вимірювальні пристрої в репрезентативних умовах або на діючих будівельних майданчиках.

Важливою умовою є проведення вимірювань за стандартною методикою, опис якої наводиться в додатку В.

Вимірювання повинні проводитися протягом досить тривалого періоду часу, щоб накопичити достовірну базу даних для подальшого аналізу. Період вимірювань може становити, залежно

be consulted, e.g. telecommunication and power transmission companies, meteorological services and the like with in-service experience. The method can be recommended as the first thing to do, while awaiting results from Method C.

Method B usually demands some additional information or assumptions about the parameters.

The principles of icing modelling are presented in annexes C and D.

For Method C standardized measuring devices must be operating in the areas representative of the planned site or at the actual construction site.

It is important that measurements follow standardized procedure, and such a procedure is described in annex B.

Measurements should be taken for a sufficient long period to form a reliable basis for extreme value analysis. The length of the period could be from a few years to several decades, depending on the conditions.

від умов, від кількох років до десятків років.

При цьому не виключаються і короточасні серії вимірювань, які можуть вивчатися окремо або спільно з результатами тривалих метеорологічних спостережень, як у статичному, так і в фізичному (краще) плані, у поєднанні з теоретичними моделями.

6.2 Типи обледеніння

6.2.1 Загальні положення

Атмосферне обледеніння традиційно класифікують відповідно до двох різних процесів ожеледоутворення:

- a) обледеніння внаслідок опадів;
- b) внутрішньохмаране

обледеніння.

При цьому класифікація може ґрунтуватися й на інших параметрах, див. табл. 1 і 2.

Фізичні властивості і зовнішній вигляд ожеледі різняться залежно від метеорологічних умов під час ожеледоутворення.

Крім характеристик, зазначених у табл. 1, для опису властивостей ожеледного відкладення можуть

However, shorter series can be of valuable help and can also be connected to longer records of meteorological data, either statistically or (better) physically, in combination with theoretical models.

6.2 Icing types

6.2.1 General

Atmospheric icing is traditionally classified according to two different formation processes:

- a) precipitation icing;
- b) in-cloud icing.

However, a classification may be based on other parameters, see Tables 1 and 2.

The physical properties and the appearance of the accreted ice will vary widely according to the variation in meteorological conditions during the ice growth.

Besides the properties mentioned in Table 1, other parameters, such as compressive strength (yield and

використовуватися інші параметри, такі як міцність на стиск (плинність і руйнування), міцність на зсув тощо.

Максимальна маса ожеледних відкладень залежить від кількох факторів, найважливішими з яких є вологість, температура і тривалість ожеледоутворення.

Основними передумовами для суттєвого обледеніння є розміри об'єкта і його орієнтація відносно напрямку вітру. Більш детально це питання розглядається в розділі 7.

crushing), shear strength, etc., may be used to describe the nature of accreted ice.

The maximum amount of accreted ice will depend on several factors, the most important being humidity, temperature and the duration of the ice accretion.

A main preconditions for significant ice accretion are the dimensions of the object exposed and its orientation to the direction of the icing wind. This is explained in more detail in clause 7.

Таблиця 1 – Типові характеристики обледеніння внаслідок атмосферного впливу

Table 1 – Typical properties of accreted atmospheric ice

Тип обледеніння Type of ice	Густина, кг/м ³ Density kg/m ³	Адгезія і когезія Adhesion and cohesion	Загальний зовнішній вигляд General appearance	
			Колір Colour	Форма Shape
Ожеледь Glaze	900	сильна strong	прозорий transparent	рівномірно розподілена/ бурульки evenly distributed/icicles
Мокрий сніг Wet snow	від 300 до 600 300 to 600	слабка (утворення) weak (forming) сильна (замерзання) strong (frozen)	білий white	рівномірно розподілена/ ексцентрична evenly distributed/eccentric
Тверда паморозь Hard rime	від 600 до 900 600 to 900	сильна strong	непрозорий (темний) opaque	ексцентрична, з навітряного боку eccentric, pointing windward
М'яка паморозь Soft rime	від 200 до 600 200 to 600	від слабкої до середньої low to medium	білий white	ексцентрична, з навітряного боку eccentric, pointing windward

Примітка 1. На практиці, шари ожеледних відкладень можуть також формуватися з різних типів ожеледі (див. табл. 1), однак, з точки зору проектування, деталізація типів ожеледі не потрібна. У табл. 2 наведено загальний огляд основних метеорологічних параметрів, які управляють ожеледоутворенням.

Хмара або туман складається з дрібних крапель води або кристалів льоду. Навіть якщо температура перебуває нижче точки замерзання води, краплі води можуть залишатися в рідкому стані. Однак при зіткненні з об'єктами, розташованими в напрямку повітряного потоку, ці переохолоджені краплі одразу замерзають.

NOTE 1 In practice, accretions formed of layers of different types of ice (mentioned in Table 1) can also occur, but from an engineering point of view the types of ice do not need to be described in more detail. Table 2 gives a schematic outline of the major meteorological parameters controlling ice accretion.

A cloud or fog consists of small water droplets or ice crystals. Even if the temperature is below the freezing point of water, the water droplets may remain in the water state. Such super-cooled droplets freeze immediately on impact with objects in the airflow.

Таблиця 2 – Метеорологічні параметри, що управляють атмосферним обледенінням

Table 2 – Meteorological parameters controlling atmospheric ice accretion

Тип обледеніння Type of ice	Температура повітря, Air temperature °C	Швидкість вітру, м/с Wind speed, m/s	Розмір краплі Droplet size	Вміст води в повітрі Water content in air	Звичайна тривалість опадів Typical storm duration
Обледеніння внаслідок атмосферних опадів Precipitation icing					
Ожеледь (крижаний дощ або мряка) Glaze (freezing rain or drizzle)	$-10 < t_a < 0$	будь-яка any	велика large	середній medium	години hours
Мокрий сніг Wet snow	$0 < t_a < +3$	будь-яка any	пластівці flakes	дуже високий very high	години hours
Внутрішньохмаране обледеніння In-cloud icing					
Ожеледь Glaze	див. рис. 1 see Figure 1	див. рис. 1 see Figure 1	середня medium	високий high	години hours
Тверда паморозь Hard rime	див. рис. 1 see Figure 1	див. рис. 1 see Figure 1	середня medium	середній medium	дні days
М'яка паморозь Soft rime	див. рис. 1 see Figure 1	див. рис. 1 see Figure 1	мала small	низький low	дні days

Примітка 2. Якщо потік крапель води в напрямку об'єкта перебуває в стані нижче температури замерзання, кожна крапля замерзає до того, як наступна крапля встигне впасти на те саме місце; у цьому випадку наріст ожеледі називається сухим.

При збільшенні потоку води наріст ожеледі стає вологим, оскільки краплі не мають достатньо часу для замерзання до зіткнення з наступними краплями.

Загалом, сухе обледеніння призводить до утворення різних типів паморозі (з умістом бульбашок повітря), тоді як вологе обледеніння завжди призводить до утворення ожеледі (твердої та прозорої).

На рис. 1 наведено параметри, які управляють утворенням основних типів ожеледі.

Густина льоду, що утворюється, змінюється в широкому діапазоні: від низької (м'яка паморозь), включаючи середню (тверда паморозь), до високої (ожеледь).

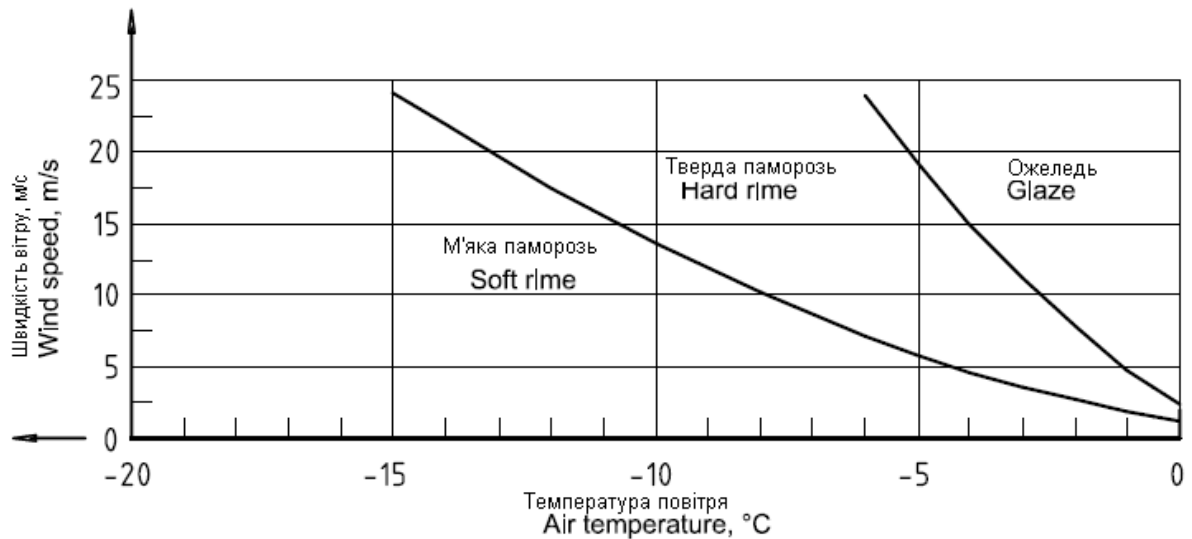
NOTE 2 When the flux of water droplets towards the object is less than the freezing rate, each droplet freezes before the next droplet impinges on the same spot, and the ice growth is said to be dry.

When the water flux increases, the ice growth will tend to be wet, because the droplets do not have the necessary time to freeze, before the next one impinges.

In general, dry icing results in different types of rime (containing air bubbles), while wet icing always forms glaze (solid and clear).

Figure 1 gives an indication of the parameters controlling the major types of ice formation.

The density of accreted ice varies widely from low (soft rime) over medium (hard rime) to high (glaze).



Примітка. Зі збільшенням вмісту рідкої води і зменшенням розміру об'єкта відбувається зміщення кривих вліво.

NOTE The curves shift to the left with increasing liquid water content and with decreasing object size.

Рисунок 1 – Тип обледеніння як функція швидкості вітру і температури повітря

Figure 1 – Type of accreted ice as a function of wind speed and air temperature

6.2.2 Ожеледь

Ожеледь – це тип крижаного покриву, який утворюється з атмосферних опадів і має найвищу густину. Ожеледь утворюється внаслідок крижаного дощу чи мряки або внутрішньохмарного обледеніння і, як правило, призводить до рівномірно розподіленого обледеніння.

Ожеледь може призводити також до утворення бурульок; у цьому випадку лід може мати доволі асиметричну форму.

6.2.2 Glaze

Glaze is the type of precipitation ice having the highest density. Glaze is caused by freezing rain, freezing drizzle or wet in-cloud icing, and normally causes smooth evenly distributed ice accretion.

Glaze may result also in formation of icicles; in this case the resulting shape can be rather asymmetric.

Утворення ожеледі можливе на будь-яких об'єктах, коли сніг або дощ випадають при температурі нижче точки замерзання.

Примітка. Крижаний дощ або мряка утворюються тоді, коли тепле повітря на висоті розплавляє кристали снігу і утворює дощові краплі, які потім падають, проходячи через переохолоджений шар повітря поблизу поверхні землі. Такі температурні зміни можуть мати місце поряд із теплими фронтами або в долинах, де холодне повітря може виявитися замкненим нижче верхніх, більш теплих, шарів повітря.

Поверхнева температура обледеніння перебуває поряд із точкою замерзання, і тому рідка вода під впливом вітру і гравітаційної сили може обтікати об'єкт з різних боків і замерзати з підвітряного боку.

Швидкість наростання ожеледі залежить від таких факторів:

- інтенсивність атмосферних опадів;
- швидкість вітру;
- температура повітря.

6.2.3 Мокрий сніг

Мокрий сніг може прилипати до поверхні об'єкта завдяки наявності вільної води в частково розталих кристалах снігу. Тому налипання мокрого снігу відбувається тоді, коли температура повітря трохи вище точки замерзання.

Якщо після налипання мокрого

Glaze can be accreted on objects anywhere when rain or drizzle occurs at temperatures below freezing point.

NOTE Freezing rain or drizzle occurs when warm air aloft melts snow crystals and forms rain drops, which afterwards fall through a freezing air layer near the ground. Such temperature inversions can occur in connection with warm fronts, or in valleys where cold air may be trapped below warmer air aloft.

The surface temperature of accreting ice is near freezing point, and therefore liquid water, due to wind and gravity, can flow around the object and freeze also on the leeward side.

The accretion rate for glaze mainly varies with the following:

- rate of precipitation;
- wind speed;
- air temperature.

6.2.3 Wet snow

Wet snow is able to adhere to the surface of an object because of the occurrence of free water in the partly melted snow crystals. Wet snow accretion therefore occurs when the air temperature is just above the freezing point.

If decreasing temperature follows

снігу температура знизиться, сніг замерзне. Щільність і сила адгезії можуть змінюватися в залежності від багатьох факторів, в тому числі, частки талої води і швидкості вітру.

6.2.4 Паморозь

Паморозь – це найбільш поширений тип внутрішньохмарного обледеніння, часто з утворенням наростів крильчатої форми з навітряної сторони на лінійних об'єктах, що не зазнають обертання, тобто на об'єктах, які не обертаються навколо поздовжньої осі через ексцентричне ожеледне навантаження.

Під час сильного обледеніння невеликих лінійних об'єктів поперечний переріз наросту паморозі має майже трикутну форму, верхній кут якої спрямований у навітряний бік, але зі збільшенням ширини (діаметра) об'єкта паморозеві відкладення починають змінювати свою форму (див. розділ 7).

Рівномірно розподілений шар льоду може також утворюватися в процесі внутрішньохмарного обледеніння, коли об'єкт є (майже) горизонтальною «струною» (має прямолінійну форму), що обертається

wet snow accretion, the snow will freeze. The density and adhesive strength vary widely with, among other things, the fraction of melted water and the wind speed.

6.2.4 Rime

Rime is the most common type of in-cloud icing and often forms vanes on the windward side of linear, non-rotatable objects, i.e. objects which will not rotate around the longitudinal axis due to eccentric loading by ice.

During significant icing on small, linear objects, the cross section of the rime vane is nearby triangular with the top angle pointing windward but, as the width (diameter) of the object increases, the ice vane changes its form, see clause 7.

Evenly distributed ice can also be formed by in-cloud icing when the object is a (nearly) horizontal «string» (linear shape) which is rotatable around its axis. The accreted ice on the windward side of the «string» will force it to rotate when

навколо своєї осі. Лід, що накопичився з навітряного боку «струни», змушує її обертатися при досягненні достатньої маси покриву. Цей процес може тривати до тих пір, доки триватиме обмерзання. В результаті цього навколо «струни» утворюється крижаний покрив більш-менш циліндричної форми.

Примітка. Вміст рідкої води в повітрі при температурі нижче приблизно $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ стає настільки незначним, що внутрішньохмарного обледеніння практично не відбувається.

Найбільш сильне обмерзання памороззю відбувається у відкритих горах (на узбережжі або у внутрішньоматериковій частині) або там, де гірські долини змушують вологе повітря проходити через перевали, де воно в подальшому піднімається і проходить перевали зі збільшеною швидкістю.

Швидкість наростання паморозі залежить у багатьох випадках від таких факторів:

- розміри об'єкта, що піддається обмерзанню;
- швидкість вітру;
- вміст рідкої води в повітрі;
- розподіл крапель за розмірами;
- температура повітря.

6.2.5 Інші типи обледеніння

Білий іній, продукт прямого переходу парів води в лід, утворюється зазвичай за низьких температур. Білий

the weight of ice is sufficient. This mechanism may continue as long as the ice accretion is going on. It results in an ice accretion more or less cylindrical around the string.

NOTE The liquid water content of the air becomes so small at temperatures below about $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ that practically no in-cloud icing occurs.

The most severe rime icing occurs on freely exposed mountains (coastal or inland), or where mountain valleys force moist air through passes, and consequently both lifts the air and increases the wind speed over the pass.

The accretion rate for rime mainly varies with the following:

- dimensions of the object exposed;
- wind speed;
- liquid water content in the air;
- drop size distribution;
- air temperature.

6.2.5 Other types of ice

Hoar frost, which is due to direct phase transition from water vapour into ice, is common at low temperatures. Hoar

іній має низьку щільність і міцність і тому не створює істотних навантажень на конструкції.

6.3 Топографічні впливи

Регіональна і місцева топографія змінює рух вертикальних потоків повітряних мас, впливаючи на інтенсивність опадів хмарної структури і, відповідно, на умови обледеніння.

Вплив місцевості на внутрішньохмарне обледеніння і на обмерзання в результаті атмосферних опадів виявляє себе по-різному. Як правило, топографія може використовуватися як основа для визначення зон обледеніння. Найчастіше детального опису потребують такі параметри:

- відстань від узбережжя (з навітряного/підвітряного боку);
- висота над рівнем моря;
- місцева топографія (рівнини, долини);
- гірські схили, повернені в бік морського клімату (в навітряну сторону);
- високі місцевості, загороджені більш високими горами;

прДСТУ Б ISO 12494:201X

frost is of low density and strength, and normally does not result in significant load on structures.

6.3 Topographic influences

Regional and local topography modifies the vertical motions of the air masses and hence also the cloud structures precipitation intensity and, by these, the icing conditions.

The influence of terrain is generally different for in-cloud icing than for precipitation icing. In general, topography may be the basis for defining icing zones. Most often a detailed description is necessary concerning the following:

- distance from the coast (to windward/leeward);
- elevation above sea level;
- local topography (plains, valleys);
- mountain sides facing maritime climates (to windward);
- high level areas sheltered by higher mountains;

– високі гори, розташовані на місцевостях високого рівня.

Найсильніше обледеніння часто відбувається в гірських районах, де можуть спостерігатися одночасно внутрішньохмарне обледеніння і обмерзання під впливом атмосферних опадів. При цьому останній тип обледеніння зазвичай відбувається внаслідок налипання мокрого снігу.

Примітка. Коли вітер дме з моря, гори спрямовують вологе повітря вгору. Це призводить до конденсації водяної пари і випадіння крапель на навітряну сторону гір через охолодження піднятого догори, вологого повітря.

Із підвітряного боку гір повітря хмар опускається і відбувається випаровування крапель води (чи кристалів льоду), в результаті чого хмари розчиняються.

У гірській місцевості крутий схил скелі висотою приблизно 50 м може призвести до істотного зниження внутрішньохмарного обледеніння з підвітряного боку скелі.

Додаткове піднімання повітря більш високими горами, розташованими далі від узбережжя, викликає нову конденсацію і утворення хмар. Проте в даному випадку вміст рідкої води в повітрі вже знизився під час проходження хмар через прибережні гори. Тому в горах, розташованих далі від узбережжя, обледеніння відбувається менш

– high mountains situated on high level areas.

The most severe icing often occurs in mountain areas, where conditions can result in a combination of in-cloud and precipitation icing, where precipitation icing will normally be of the wet snow type.

NOTE When the wind is blowing from the sea, the mountains force the moist air upwards. This leads to condensation of water vapour and droplet growth on the windward side of the mountains due to cooling of the lifted, moist air.

On the leeward side of the mountains, the cloudy air will descend and the water droplets (or ice crystals) will evaporate, resulting in dissolution of the clouds.

In a mountain area, a local face of a cliff only about 50-m height can give a significant reduction of in-cloud icing on the leeward vicinity of the cliff.

Additional lifting of the air by higher mountains, situated further inland, will cause new condensation and formation of clouds. But in this case, the passing of the coastal mountains has already reduced the liquid water content into the air. Therefore the resulting icing at inland heights usually is less severe than the icing at the coastal heights.

інтенсивно.

У долинах, де холодне повітря може потрапити в «пастку», інтенсивне обледеніння внаслідок атмосферних опадів відбувається найчастіше на дні долини, а не на навколишніх схилах.

6.4 Зміни обледеніння за висотою над поверхнею землі

Інтенсивність ожеледоутворення на конструкціях може істотно змінюватися в залежності від висоти конструкції над рівнем землі, однак простої моделі розподілу ожеледних відкладень по висоті ще не розроблено.

У деяких випадках, близько до поверхні землі обледеніння може бути відсутнє, однак на більш високих рівнях місцевості ожеледне навантаження може бути суттєвим і навпаки.

Якщо сильне обледеніння вважається можливим, слід продовжити метеорологічні спостереження за даним майданчиком.

Примітка. На рис. 2 показано стандартний коефіцієнт-множник для мас льоду на більш високих рівнях над землею (не над рівнем моря). Даний коефіцієнт може застосовуватися для всіх типів обледеніння, якщо відсутні дані для конкретної місцевості, проте насправді ситуація може виявитися

In valleys, where cold air can be «trapped», severe icing due to precipitation is more frequent in the valley bottoms than on the surrounding hillsides.

6.4 Variation with height above terrain

Ice mass on a structure may vary strongly with height of the element above terrain, but so far a simple model for the distribution of ice with height has not been found.

In some cases, ice may not be observed close to ground level, but at higher levels the ice load can be significant, and also the reverse situation may be found.

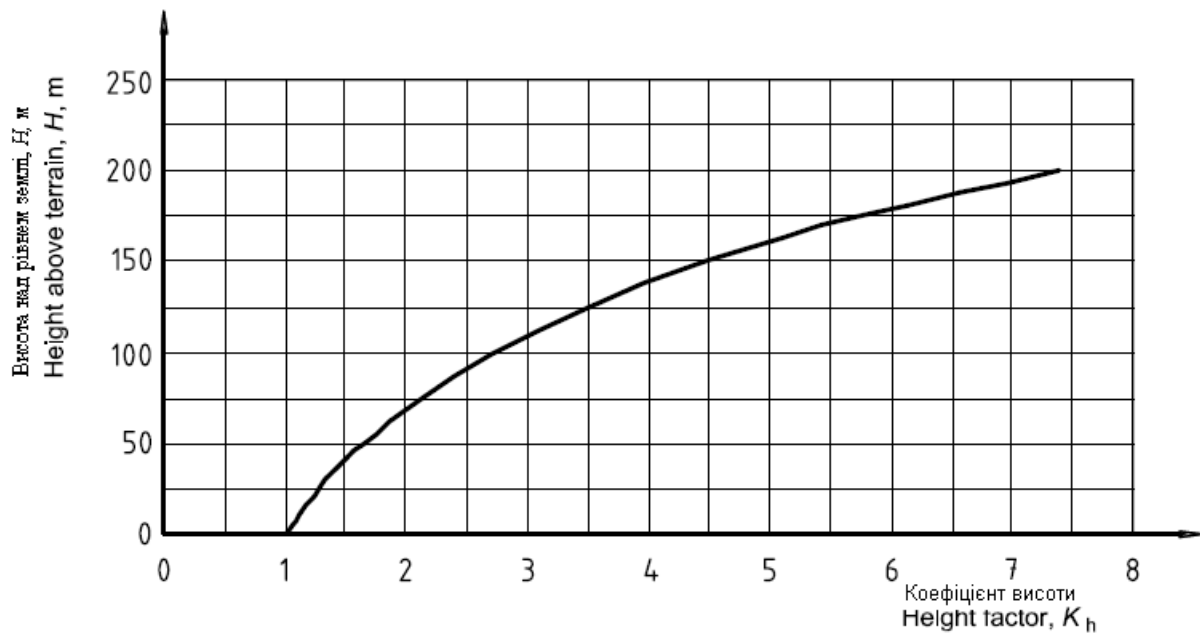
If heavy ice accretions appear probable, further meteorological studies on the particular site are recommended.

NOTE Figure 2 shows a typical multiplying factor for ice masses at higher levels above terrain (not above sea level). The factor may be applied for all types of ice, if site-specific data are not available, but reality may in some cases be more complicated than Figure 2 shows.

набагато складнішою, ніж це зображено на рис. 2.

Ефект висоти можна також виразити за допомогою визначення льодових класів для різних рівнів високої конструкції, наприклад, щогли, башти, гірськолижних підйомників тощо.

The height effect can be expressed also by specifying different ice classes for different levels of a high structure, e.g. mast, towers, ski-lifts, etc.



Примітка. Коефіцієнт висоти, $K_h = e^{0,01H}$

NOTE Height factor: $K_h = e^{0,01H}$

Рисунок 2 – Типові зміни мас льоду зі зміною висоти над рівнем землі
Figure 2 – Typical variation of ice masses with the height above terrain

7 ОБЛЕДЕНІННЯ КОНСТРУКЦІЙ

7 ICING ON STRUCTURES

7.1 Загальні положення

7.1 General

У даному розділі розглядаються принципи методики визначення параметрів дії ожеледі на конструкції.

This clause contains principles of the procedure for determining characteristic ice actions and their effects on structures.

Для того щоб визначити ступінь впливу ожеледі, необхідно знати

It is necessary to have accreted ice dimensions and masses to be able to

розміри і масу ожеледних відкладень.

На основі метеорологічних параметрів, фізичних властивостей ожеледі й тривалості обледеніння визначаються розміри і вага ожеледних відкладень на даному об'єкті.

Форма обмерзання залежить, у першу чергу, від кількості і типу крижаного наросту, а також від розміру, форми й орієнтації об'єкта.

Типи обледеніння, зазначені нижче, розрізняються як «ожеледь» (G) і «паморозь» (R). Мокрий сніг слід розглядати як паморозь.

Примітка. В одних і тих самих метеорологічних умовах інтенсивність обледеніння може змінюватися залежно від розмірів, форми і орієнтації об'єкта відносно вітру.

Найсильніше обледеніння відбувається на об'єктах, розташованих у площині, перпендикулярній до напрямку вітру, а також на об'єктах з невеликими розмірами поперечного перерізу. Наприклад, більш інтенсивне обледеніння відбувається на тонкому дроті, а не на товстому. Однак при тривалому обмерзанні розміри крижаного наросту на обох об'єктах будуть майже однаковими.

Тому такі об'єкти, як ванти, щоглови відтяжки, елементи антен, ґратчасті

determine ice actions.

The meteorological parameters, together with the physical properties of ice and icing duration, determine the size and weight of accreted ice on a given object.

Shapes of the accreted ice are primarily controlled by the amount and type of ice accreted and the size, shape and orientation of the exposed object.

Icing types specified below are separated into «glaze» (G) and «rime» (R). Wet snow should be treated as rime.

NOTE Under the same meteorological conditions, the ice accretion rate will vary with the dimensions, shape and orientation of the exposed object to the wind.

The most severe ice accretion will occur on an object which is placed in a plane, perpendicular to the wind direction, and with small cross-sectional dimensions. For example, ice accretes more rapidly on a thin wire than on a thick one. However, if the icing duration is long enough, the accreted ice dimensions of the two objects will be almost similar.

Therefore specific objects such as cables, mast guys, antenna elements, lattice structures

конструкції тощо, можуть піддаватися більш інтенсивному обледенінню, ніж об'єкти великих розмірів або конструкції суцільного типу.

З цієї ж причини на об'єктах великих розмірів обледеніння буде концентруватися по краях, гострих окрайках тощо.

Що стосується «однорозмірних» об'єктів (наприклад, дрiт), розташованих паралельно до напрямку вітру, то вони майже не будуть піддаватися обмерзанню.

7.2 Льодові класи

Щоб виразити очікувану кількість ожеледних відкладень на певному майданчику, вводиться термін «льодовий клас» (IC).

Льодовий клас – це параметр, який повинен використовуватися проєктувальниками для визначення вірогідного ступеня обледеніння конкретного майданчика.

Інформацію щодо льодових класів, за якими визначається ступінь обледеніння певного майданчика, можуть надати метеорологи. Іншими словами, льодовий клас показує ступінь можливого ожеледоутворення, що повинно враховуватися при виборі відповідних розмірних параметрів.

У цьому розділі дані щодо льодових класів використовуються як

and the like can be exposed to much higher ice accretion rates than objects of greater diameter and of a solid structural type.

For the same reasons, on bigger objects the accreted ice normally will be concentrated on rims, sharp edges, etc.

There will be almost no ice accreted on a «one-dimensional» object (e.g. a wire) orientated parallel to the wind direction.

7.2 Ice classes

To be able to express the expected amount of accreted ice at a certain site, the term «ice class» (IC) is introduced.

IC is the parameter to be used by designers to determine how severe the ice accretion is expected to be at a particular site.

Meteorologists may provide information about the IC, and for a certain site, icing severity is defined by a certain ice class, which in general terms tells how much ice can be expected as defined for dimensioning purposes.

Data for ice classes in this clause are used as recommendations, based on

рекомендації, на підставі яких можна визначити вплив ожеледі при проектуванні. Ці льодові класи охоплюють можливі варіанти обледеніння не для всіх майданчиків, а для більшості з них (льодові класи G6 і R10 в табл. 3 і 4 слід використовувати для екстремальних випадків обледеніння).

Примітка. Для отримання інформації про певний майданчик в умовах відсутності аналогічних даних спостережень потрібно проводити вимірювання та/або вивчення моделей обледеніння.

Льодові класи можуть змінюватися в межах коротких відстаней на певній ділянці. Вимірювання слід проводити там, де очікується найбільш інтенсивне обледеніння, або на зазначеному будівельному майданчику; див. додаток В.

7.3 Визначення льодового класу, IC

Льодові класи IC визначаються за характеристичною величиною обледеніння на контрольному колекторі при 50-річному періоді повторюваності.

Цей контрольний колектор являє собою циліндр діаметром 30 мм і довжиною не менше 0,5 м, що розташований на висоті 10 м над поверхнею землі і повільно

which all ice actions may be determined for engineering use. These ice classes cover the possible variation of accreted ice for most sites, but not all sites (ref. IC G6 and R10 in Tables 3 and 4 should be used for extreme ice accretions).

NOTE Measurements and/or model studies are necessary to obtain the information needed for a specific site, unless experience can supply the same information.

The ice class may vary within rather short distances in a specific area. Measuring should be carried out where ice accretion is expected to be most severe, or at the precise building site; see annex B.

7.3 Definition of ice class, IC

ICs are defined by a characteristic value, the 50 years return period of the ice accretion on the reference collector.

This reference collector is a 30 mm diameter cylinder of a length not less than 0,5 m, placed 10 m above terrain and slowly rotating around its own axis; see annex B, B.3.

обертається навколо своєї осі; див. додаток В, В.3.

Льодові класи можна визначити:

- за метеорологічними та/або топографічними даними разом із використанням моделі обледеніння, або
- за масою (вагою) ожеледних відкладень на метр довжини конструкції, вимірюної на майданчику.

Це означає, що за наявності одного з зазначених вище наборів даних можна належним чином визначити льодовий клас для певного майданчика.

Льодові класи визначаються як для ожеледі, так і для паморозі, оскільки їх характеристики відрізняються. Клас ICG призначений для ожеледних відкладень, а ICR - для паморозевих (мокрый сніг розглядається в даному випадку як паморозь).

Маса льоду розраховується завжди як площа поперечного перерізу крижаного наросту (за межами площі поперечного перерізу об'єкта всередині льоду), помножена на густину льоду, що наріс.

ICs can be determined based upon

- meteorological and/or topographical data together with use of an ice accretion model, or
- ice masses (weight) per metre structural length, measured on site.

This means that a proper IC can be stipulated for certain sites, if one of the above-mentioned sets of information is available.

ICs are defined for both glaze and rime, because the characteristics for these differ. ICG is for glaze deposits and ICR for rime deposits (wet snow is here treated as rime).

The mass of ice is always calculated as the cross-sectional area of accreted ice (outside the cross-sectional area of the object inside the ice), multiplied by the density of the accreted ice.

7.4 Ожеледь

7.4 Glaze

7.4.1 Загальні положення

7.4.1 General

Класи ICG визначаються як певна товщина льоду на контрольному збірнику льоду. У табл. 3 наведено значення товщини і маси ожеледного відкладення для кожного льодового класу ICG. На рис. 3 показана модель вірогідного обмерзання ожеледдю.

ICGs are defined as a certain ice thickness on the reference ice collector. Table 3 shows the ice thickness and mass for each ice class for glaze, ICG, while Figure 3 shows the stipulated accretion model for glaze.

Таблиця 3 – Льодові класи для ожеледі (ICG)
(густина льоду = 900 кг/м³)

Table 3 – Ice classes for glaze (ICG) (density of ice = 900 kg/m³)

Льодовий клас (IC) Ice class (IC)	Товщина стінки ожеледі, <i>t</i> , мм Ice thickness, <i>t</i> , mm	Маса ожеледних відкладень, <i>m</i> , кг/м Masses for glaze, <i>m</i> , kg/m			
		Діаметр циліндра, мм Cylinder diameter, mm			
		10	30	100	300
G1	10	0,6	1,1	3,1	8,8
G2	20	1,7	2,8	6,8	18,1
G3	30	3,4	5,1	11,0	28,0
G4	40	5,7	7,9	15,8	38,5
G5	50	8,5	11,3	21,2	49,5
G6	Використовується у випадку екстремального обледеніння To be used for extreme ice accretions				

7.4.2 Ожеледь на ґратчастих конструкціях

7.4.2 Glaze on lattice structures

Значення маси і розмірів згідно з рис. 3 і табл. 3 можуть використовуватися як такі, без урахування нахльостування шарів льоду в точках перетину конструкційних елементів. За необхідності, враховуються допуски

The masses and dimensions from Figure 3 and Table 3 may be used directly, and it is not normally necessary to consider adjustments because of icing overlaps at member intersections. If experience says so, allowance for severe formation of icicles may be made. This

на інтенсивне утворення бурульок. Зокрема, це стосується класу ICG3 і вище, за якими вітрові та ожеледні дії можуть спричинити навантаження більші, ніж зазначено тут.

applies especially to ICG3 and greater, and may result in greater wind action and ice load than stated here.

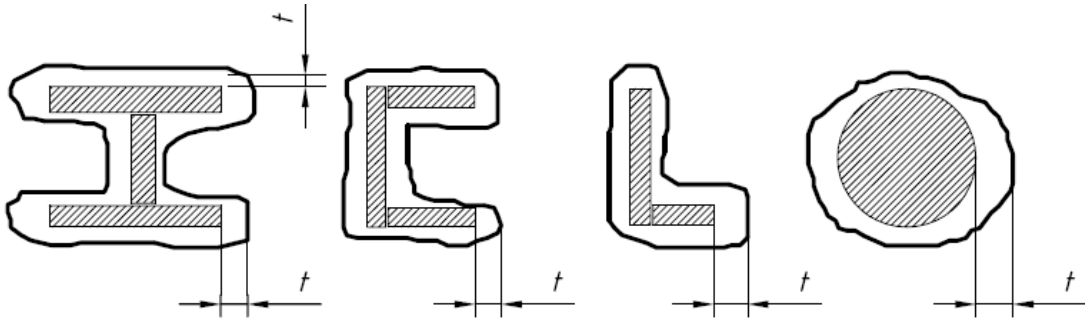


Рисунок 3 – Модель обмерзання ожеледдю
Figure 3 – Ice accretion model for glaze

Зазначена товщина льоду застосовується також для похилих елементів. Товщина вимірюється перпендикулярно поздовжній осі стрижня і завжди є однаковою в усіх напрямках навколо стрижня/об'єкта.

The specified ice thickness is valid also for sloping elements. The thickness is measured perpendicular to the length axis of the bar and is always the same in all directions around the bar/object.

7.5 Паморозь

7.5 Rime

7.5.1 Загальні положення

7.5.1 General

Класи ICR визначаються як певна маса льоду на контрольному збірнику льоду. Наведені нижче таблиці показують відношення між значеннями ваги і розмірами паморозевого відкладення в залежності від форми і розміру об'єкта, а також густини льоду.

ICRs are defined as a certain ice mass on the reference ice collector. The tables below show the connection between ice masses and ice dimensions, depending on object shapes and dimensions and on ice density.

Якщо не обумовлено інше, вважається, що на профілях шириною до 300 мм вся паморозь утворює нарости крильчатої форми (див. рис. 4).

Unless otherwise specified, all rime shall be considered vane-shaped (see Figure 4) on profiles up to a width of 300 mm.

У табл. 4 представлені значення маси відкладень і розміри для кожного льодового класу паморозі (ICR).

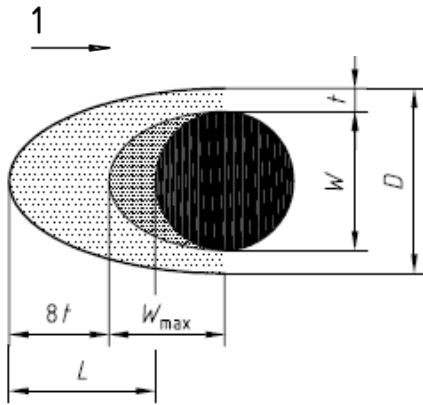
Table 4 shows the ice mass and dimensions for each ice class for rime, ICR.

Таблиця 4 – Льодові класи для паморозі (ICR)

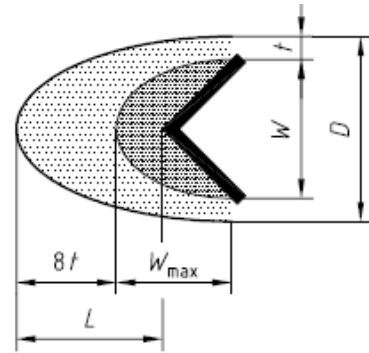
Table 4 – Ice classes for rime (ICR)

Льодовий клас (IC) Ice class (IC)	Маса ожеледних відкладень, m , кг/м Ice mass, m , kg/m	Діаметр паморозевого відкладення (мм) для об'єктів діаметром 30 мм Rime diameter (mm) for object diameter of 30 mm			
		Густина паморозі (кг/м ³) Density of rime (kg/m ³)			
		300	500	700	900
R1	0,5	55	47	43	40
R2	0,9	69	56	50	47
R3	1,6	88	71	62	56
R4	2,8	113	90	77	70
R5	5,0	149	117	100	89
R6	8,9	197	154	131	116
R7	16,0	262	204	173	153
R8	28,0	346	269	228	201
R9	50,0	462	358	303	268
R10	Використовується у випадку екстремального обледеніння To be used for extreme ice accretions				

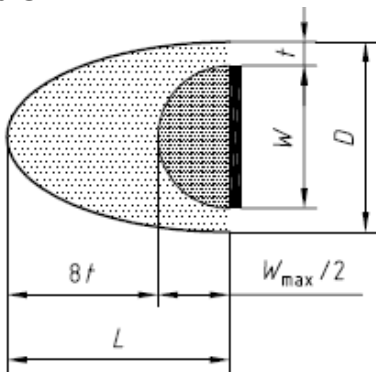
Тип А
Type A



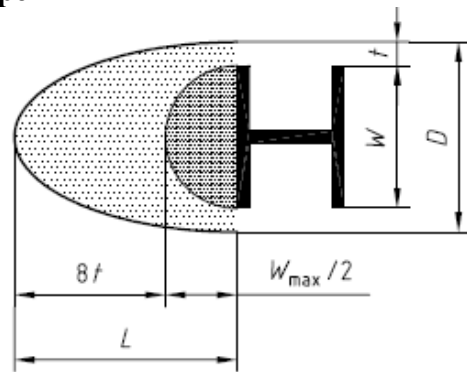
Тип В
Type B



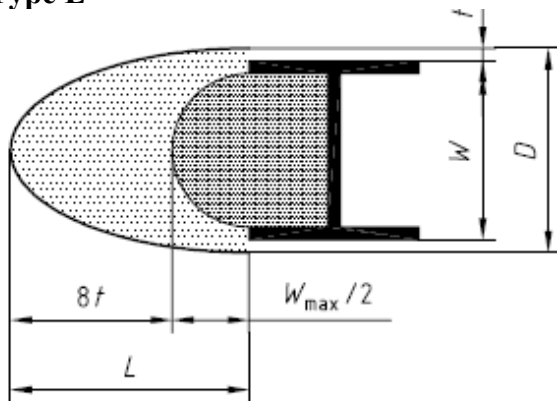
Тип С
Type C



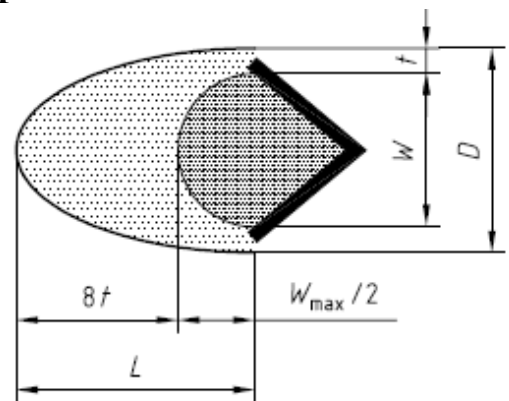
Тип D
Type D



Тип Е
Type E



Тип F
Type F



Позначки:
1 – напрямок вітру

Key
1 Wind direction

Рисунок 4 – Модель обмерзання памороззю
Figure 4 – Ice accretion model for rime

Модель паморозевого обмерзання на рис. 4 базується на попередній умові, що збірник льоду є таким, що не обертається і майже горизонтальний.

Загалом, класи ICR і щільність паморозі визначають масу ожеледних відкладень на профілях. Що стосується розмірів обмерзання, то вони підлягають розрахунку.

7.5.2 Паморозь на окремих елементах

7.5.2.1 Загальні положення

Інформація, аналогічна даним, зазначеним у наведених нижче таблицях, необхідна для практичного використання цього стандарту. Якщо визначено клас ICR, можуть бути розраховані відповідні розміри крижаного наросту. Ці розміри можуть незначно змінюватися в залежності від використововуваного типу профілю (сталевого).

7.5.2.2 Тонкі конструкційні елементи об'єкта шириною ≤ 300 мм

Моделі обледеніння на рис. 4 і 5 зображують прогнозовані форми паморозевих відкладень із метою подальшого складання рівнянь.

The model for rime in Figure 4 is based on the precondition that the ice collector is non-rotatable and nearly horizontal.

In general, ICRs and density of ice define ice masses accreted on profiles, but the iced dimensions have to be calculated.

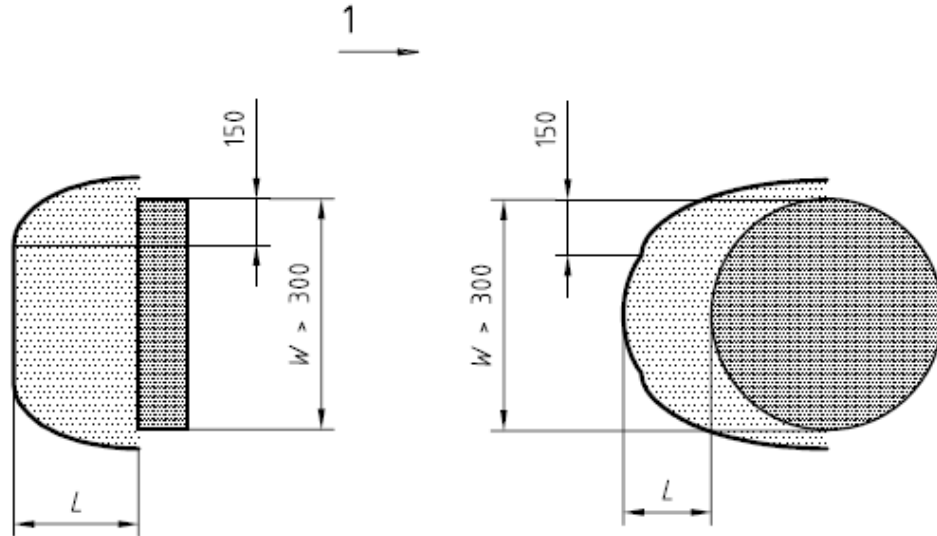
7.5.2 Rime on single members

7.5.2.1 General

Information similar to those shown in the following tables is necessary for the practical use of this standard. As soon as the ICR has been found, the corresponding ice vane dimensions can be calculated. Ice vane dimensions will slightly change with the type of (steel) section used.

7.5.2.2 Slender structural members with object width ≤ 300 mm

The icing models in Figures 4 and 5 explain how the ice deposits are presumed to be shaped and consequently how the equations are constructed.



Позначки:
1 – напрямок вітру

Key
1 Wind direction

Рисунок 5 – Модель обмерзання памороззю для великих об'єктів
Figure 5 – Ice accretion model for rime, large objects

Якщо є більш точна інформація, отримана, наприклад, в результаті прямих вимірювань, повинна використовуватися саме вона. Якщо такої інформації немає, то для розрахунку навантажень і впливів повинні використовуватися наступні таблиці.

Примітка 1. На рис. 4 показано розрахункову модель обмерзання памороззю стрижнів розміром до 300 мм. Модель показує, що обледеніння відбувається проти напрямку вітру (з навітряної сторони об'єкта).

Заштрихована область W (ширина об'єкта) або $\frac{1}{2}W$ показує початкове обледеніння без будь-якого збільшення

If better information from, for example, measurements are available, this should be used. If this is not the case, the following tables should be used for calculation of loads and actions.

NOTE 1 Figure 4 shows the stipulated accretion model for rime on bars of dimension up to 300 mm. The model shows that ice accretion is built up against the wind direction (on the windward side of the object).

The shaded area indicated as W (width of object) or $\frac{1}{2}W$ shows the first ice accretion without any increase in object width. The

ширини об'єкта. Відмітка $8t$ показує напрямок подальшого обмерзання, де t (товщина стінки ожеледі) – це приріст, вимірний перпендикулярно до напрямку вітру.

Обледеніння на профілях E і F починається без збільшення розмірів поперечних перерізів.

L – це збільшення початкової ширини профілів, і тому воно додається до W (ширина об'єкта без льоду) для розрахунку вітрового навантаження.

В табл. 5–7 зазначено розміри крижаного наросту крильчатої форми для типових профілів та форм поперечного перерізу; всі ці розміри розраховані на густину льоду 500 кг/м^3 . Якщо необхідні значення (наприклад, розмірів і густини) неможливо знайти в таблицях, їх потрібно розрахувати за допомогою рівнянь із додатка А.

Навіть якщо значення в табл. 5–7 здаються майже однаковими, вважається доцільним розділити їх на два основні типи поперечних перерізів з огляду також і на те, що майбутні вимірювання можуть виявити ще більші відмінності.

indication $8t$ shows the way further accretion occurs, where t (thickness of ice) is the increase measured perpendicular to the wind direction.

Ice accretion on profile shapes E and F starts without increasing the dimensions of the cross sections.

The measure L is the increase of the original profiles exposed width and is therefore added to W (without ice) for wind load calculations.

Tables 5 to 7 show ice vane dimensions for typical profile dimensions and cross-sectional shapes, all calculated for an ice density of 500 kg/m^3 . If values required cannot be found in the tables, they should be calculated by using the equations in annex A, e.g. dimensions and densities not given in the tables.

Even if the values in Tables 5 to 7 appear to be almost alike, it has been found to be rational to separate between the few major types of cross sections, also because the future might show increased difference.

Таблиця 5 – Розміри крижаного наросту крильчатої форми на стрижнях, типи А і В (Дійсні тільки для внутрішньохмарного обледеніння; густина льоду = 500 кг/м³)

Table 5 – Ice dimensions for vane shaped accreted ice on bars, types A and B (Valid only for in-cloud icing; density of ice = 500 kg/m³)

Форма профілю стрижнів: типи А і В Cross sectional shape of bars: Types A and B									
Ширина об'єкта, мм Object width, mm		10	30	100	300				
IC	Маса ожеледних відкладень, <i>m</i>, кг/м Ice mass, <i>m</i>, kg/m	Розміри крижаного наросту крильчатої форми, мм Ice vane dimensions, mm							
		<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>
R1	0,5	54	22	34	35	13	100	4	300
R2	0,9	78	28	54	40	23	100	8	300
R3	1,6	109	36	82	47	41	100	14	300
R4	2,8	150	46	120	56	67	104	24	300
R5	5,0	207	60	174	70	106	114	42	300
R6	8,9	282	79	247	88	165	129	76	300
R7	16,0	384	105	348	113	253	151	136	300
R8	28,0	514	137	478	146	372	181	217	317
R9	50,0	694	182	656	190	543	223	344	349
R10	Використовується у випадку екстремального обледеніння To be used for extreme ice accretions								

Таблиця 6 – Розміри крижаного наросту крильчатої форми на стрижнях, типи С і D (Дійсні тільки для внутрішньохмарного обледеніння; густина льоду = 500 кг/м³)

Table 6 – Ice dimensions for vane shaped accreted ice on bars, types C and D (Valid only for in-cloud icing. Density of ice = 500 kg/m³)

Форма профілю стрижнів: типи С і D Cross sectional shape of bars: Types C and D									
Ширина об'єкта, мм Object width, mm		10	30	100	300				
IC	Маса ожеледних відкладень, <i>m</i>, кг/м Ice mass, <i>m</i>, kg/m	Розміри крижаного наросту крильчатої форми, мм Ice vane dimensions, mm							
		<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>
R1	0,5	56	23	36	35	13	100	4	300
R2	0,9	80	29	57	40	23	100	8	300
R3	1,6	111	37	86	48	41	100	14	300
R4	2,8	152	47	124	57	68	105	24	300
R5	5,0	209	61	179	71	111	115	42	300
R6	8,9	284	80	253	90	173	131	76	300
R7	16,0	387	105	355	115	265	154	136	300
R8	28,0	517	138	484	147	387	184	224	318
R9	50,0	696	183	663	192	560	227	361	353
R10	Використовується у випадку екстремального обледеніння To be used for extreme ice accretions								

Примітка 2. Обледеніння циліндричної форми дійсне тільки для тонких елементів із низькою жорсткістю щодо кручення, нахил яких становить не більше 45° відносно горизонтальної площини (наприклад, ванти, сталеві троси тощо). У таких випадках розміри крижаного наросту можна розрахувати за масою ожеледного відкладення відповідного льодового класу ICR (див. табл. 4).

NOTE 2 Cylindrical accreted ice is only valid for slender elements of low torsional stiffness and sloping not more than about 45° to a horizontal plane (e.g. cables, steel ropes, etc.). In such cases ice dimensions may be calculated from ice masses, defined as ICRs (see Table 4).

Таблиця 7 – Розміри крижаного наросту крильчатої форми на стрижнях, типи E і F (Дійсні тільки для внутрішньохмарного обледеніння; густина льоду = 500 кг/м³)

Table 7 – Ice dimensions for vane-shaped accreted ice on bars, types E and F (Valid only for in-cloud icing; density of ice = 500 kg/m³)

Форма профілю стрижнів: типи E і F									
Cross-sectional shape of bars: Types E and F									
Ширина об'єкта, мм Object width, mm		10		30		100		300	
IC	Маса ожеледних відкладень <i>m</i> , кг/м Ice mass, <i>m</i>, kg/m	Розміри крижаного наросту крильчатої форми, мм Ice vane dimensions, mm							
		<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>
R1	0,5	55	23	29	34	0	100	0	300
R2	0,9	79	29	51	39	0	100	0	300
R3	1,6	111	36	81	47	9	100	0	300
R4	2,8	152	47	121	57	39	100	0	300
R5	5,0	209	61	177	70	87	109	0	300
R6	8,9	284	80	251	89	154	126	0	300
R7	16,0	387	105	353	115	250	150	40	300
R8	28,0	517	138	483	147	376	181	142	300
R9	50,0	696	183	662	192	551	225	294	336
R10	Використовується у випадку екстремального обледеніння To be used for extreme ice accretions								

Значення, наведені в таблиці, можуть змінюватися відповідно до значень інших розмірів профілю і

The values in the tables shall be changed in accordance with other profile dimensions and densities of ice; see

густини льоду; щодо застосування рівнянь див. додаток А.

7.5.2.3 Окремі елементи об'єктів шириною (W) > 300 мм

Коли розміри профілю збільшуються і поступово змінюють форму до інших типів поперечних перерізів, доцільно використовувати іншу модель обледеніння; при збільшенні розмірів об'єкта крижаний наріст зміниться за вагою і формою.

Тому для великих об'єктів необхідно змінити модель обледеніння, щоб максимально наблизитися до природної ситуації.

На рис. 5 показана розрахункова модель паморозевого обледеніння великих об'єктів, розміри (W) яких становлять від 300 мм до 5 м. В табл. 8 та 9 наведені значення маси і розмірів для великих об'єктів.

Примітка. У межах кожного льодового класу ICR довжина (L) крижаного наросту крильчатої форми для $W = 300$ мм (згідно з рис. 5 і 6) підтримується на постійному рівні для всіх значень ширини об'єкта, а маса поступово збільшується зі збільшенням ширини об'єкта. Форма великих об'єктів відповідає типам, зображеним на рис. 4.

annex A for equations used.

7.5.2.3 Single members with object width (W) > 300 mm

When profile dimensions increase and gradually change shape towards other types of cross sections, another accretion model is expedient, and when object dimensions increase, the ice accretion will change in amount and shape.

It is therefore necessary regarding large objects to change the accretion model in order to come as close to nature as possible.

Figure 5 shows the stipulated accretion model for rime on big objects, which have been defined as dimensions (W) above 300 mm up to 5 m. Tables 8 and 9 show dimensions and masses for large objects.

NOTE Within each ICR the length (L) of the ice vane for $W = 300$ mm (in accordance with Figures 5 and 6) is kept constant for all object widths, but the ice mass is gradually increased with increasing object width. The shape of large objects follows the types in Figure 4.

Профілі при $W > 300$ мм і негратчасті конструкції, такі як бетонні башти, облицювання або інші конструкції з коефіцієнтом суцільності, що наближається або дорівнює 1,0, повинні розглядатися у відповідності до рекомендацій даного розділу, і в цьому випадку для W верхньої межі не існує.

Зміна моделі обледеніння для об'єктів великих розмірів призводить до пропорційного зниження вітрового навантаження в стані обледеніння порівняно з навантаженням без обледеніння, на відміну від моделі для невеликих об'єктів, при цьому буде спостерігатися незначне збільшення маси ожеледних відкладень, тобто значення маси тепер будуть перевищувати відповідні значення, визначені згідно з льодовим класом ICR.

На рис. 5 показана застосована модель обледеніння для об'єктів з W більше 300 мм. Значення маси ожеледних відкладень збільшилися, але не в тій мірі, як для невеликих об'єктів.

Для найбільш поширених форм великих об'єктів у табл. 8 (плоскі об'єкти) і табл. 9 (об'єкти круглої форми) наведено розміри і значення маси крижаних наростів для об'єктів шириною 300 мм, 500 мм, 1000 мм, 3000 мм і 5000 мм.

Profiles with $W > 300$ mm and non-lattice structures, such as concrete towers, claddings or other structures with solidity ratio near to or equal to 1,0, should be handled in accordance with this clause, and there is no upper limit for W .

The change of icing model will for larger object dimensions result in proportionally less wind load with ice compared to that without ice, than the model for smaller dimensions, but with a slight increase in ice masses, so masses will now be greater than those according to the ICR definitions.

Figure 5 shows the used icing model for objects with W greater than 300 mm. Ice masses are increased but not at the same rate as for smaller objects.

For the most common object shapes of large dimensions, Tables 8 (flat objects) and 9 (circular-shaped objects) show ice dimensions and masses for object widths 300 mm, 500 mm, 1 000 mm, 3 000 mm and 5 000 mm.

Що стосується менших розмірів, густина льоду залишається 500 кг/м^3 , а інші значення повинні добиратися відповідно до на іншої густини та/або інших розмірів; стосовно використання рівнянь див. додаток А.

As for smaller dimensions, ice density is 500 kg/m^3 and all values shall be adjusted for other densities and/or other dimensions, see annex A for equations used.

Таблиця 8 – Розміри і маса крижаного наросту для великих плоских об'єктів (Дійсні тільки для внутрішньохмарного обледеніння; густина льоду = 500 кг/м^3)

Table 8 – Accreted ice dimensions and masses for large, flat objects (Valid only for in-cloud icing; density of ice = 500 kg/m^3)

Форма профілю об'єкта: великі, плоскі об'єкти Cross-sectional shape of object: Large, flat objects							
Ширина об'єкта, мм Object width, mm		300	500	1000	3000	5000	
IC	Маса ожеледних відкладень m , кг/м Ice mass, m , kg/m	Довжина L (мм) і маса m (кг/м) крижаного наросту Ice length, L (mm), and mass, m (kg/m)					
		L , всі розм. L , all dim.	m	m	m	m	m
R1	0,5	4	0,5	0,9	2,0	6,2	10,5
R2	0,9	8	0,9	1,7	3,6	11,2	18,9
R3	1,6	14	1,6	3,0	6,4	19,9	33,5
R4	2,8	24	2,8	5,2	11,1	34,9	58,7
R5	5,0	42	5,0	9,2	19,9	62,3	105
R6	8,9	76	8,9	16,5	35,3	111	186
R7	16,0	136	16,0	29,6	63,5	199	335
R8	28,0	224	28,0	50,4	106	330	554
R9	50,0	361	50,0	86,1	176	537	898
R10	Використовується у випадку екстремального обледеніння To be used for extreme ice accretions						

Таблиця 9 – Розміри і маса крижаного наросту для великих об'єктів круглої форми (Дійсні тільки для внутрішньохмарного обледеніння; густина льоду = 500 кг/м³)

Table 9 – Accreted ice dimensions and masses for large, rounded objects (Valid only for in-cloud icing; density of ice = 500 kg/m³)

Форма профілю об'єкта: великі, округлі об'єкти Cross-sectional shape of object: Large, rounded objects							
Ширина об'єкта, мм Object width, mm		300	500	1000	3000	5000	
IC	Маса ожеледних відкладень <i>m</i> , кг/м Ice mass, <i>m</i> , kg/m	Довжина <i>L</i> (мм) і маса <i>m</i> (кг/м) крижаного наросту Ice length, <i>L</i> (mm), and mass, <i>m</i> (kg/m)					
		<i>L</i> , всі розм. <i>L</i> , all dim.	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
R1	0,5	4	0,5	0,9	2,0	6,2	10,5
R2	0,9	8	0,9	1,7	3,6	11,2	18,9
R3	1,6	14	1,6	3,0	6,4	19,9	33,5
R4	2,8	24	2,8	5,2	11,1	34,9	58,7
R5	5,0	42	5,0	9,2	19,9	62,3	105
R6	8,9	76	8,9	16,5	35,3	111	186
R7	16,0	136	16,0	29,6	63,5	199	335
R8	28,0	217	28,0	49,7	104	321	538
R9	50,0	344	50,0	84,4	171	515	859
R10	Використовується у випадку екстремального обледеніння To be used for extreme ice accretions						

7.6 Паморозь на ґратчастих конструкціях

7.6 Rime on lattice structures

7.6.1 Загальні положення

7.6.1 General

Якщо конструкції виготовлені з тонких, пов'язаних між собою елементів (наприклад, ґратчасті щогли), крига може наростати на них одночасно, утворюючи крижані нарости більш масивні, ніж це було б можливо на суцільному профілі.

In the case of structures built of interconnected, slender elements (such as lattice masts), the ice vanes can grow together and result in much larger ice formations than is possible for the solid, unperforated profile.

Базовим параметром ожеледного навантаження, що використовується для розрахунків, є кількість ожеледних

The basic specification of ice loads for calculations is normally specification of an amount of ice on single members

відкладень на окремих елементах (стрижнях) конструкції. Така кількість може виражатися як льодовий клас ICR, оскільки він визначає і масу льоду, і розмір профілю разом із льодом.

Характеристика льодового класу ICR може включати параметри «всієї обледенілої конструкції» замість параметрів ICR якогось окремого елемента, і в цьому випадку обмерзла конструкція буде розглядатися подібно до обледенілої бетонної башти.

Якщо за базову характеристику приймається певний льодовий клас ICR, це дозволяє визначити масу ожеледних відкладень на профілі будь-якого розміру і розрахувати всі розміри крижаного наросту на профілі за допомогою таблиць або рівнянь із додатка А.

Примітка. Після того, як льодові класи ICR буде визначено за таблицею 4, отриману інформацію слід використовувати разом із даними табл. 5–7 для визначення маси та розмірів крижаних наростів для інших (нормальних) типів профілю.

Як правило, передбачається, що крижаний нарост буде мати крильчатую форму; густина льоду повинна визначатися за табл. 1.

(bars) of the structure. The amount of ice can now be expressed as an ICR, because ICR defines both the ice mass and the profile dimension with ice.

A specification of ICR could include «a total iced structure» instead of a specific member ICR, and in this case the iced structure will appear like an iced concrete tower.

If the basic specification is just a certain ICR, the ice mass on any profile dimension is defined and all ice dimensions on any profile dimension can be found by using the tables or the equations in annex A.

NOTE When ICRs have been found from Table 4, this information should be used in connection with Tables 5 to 7 for determining ice dimensions and masses for other (normal) types of profile.

In principle, accreted ice is assumed to be vane-shaped, and the density must have been determined, see Table 1.

Для високих льодових класів ICR розміри крижаних наростів (табл. 5–7) можуть утворювати значні за розмірами нахльостування шарів ожеледних відкладень у точках перетину конструкційних елементів через суттєву товщину стінки ожеледі. Маса льоду може бути зменшена, враховуючи такі нахльостування (довжина ожеледного відкладення елемента коротша, ніж конструкційна довжина цього елемента). Як було зазначено вище, обледеніння може перетворитися на суцільну структуру.

Тому, розраховуючи загальне ожеледне навантаження на конструкцію такого типу, дуже важливо знати механізм обледеніння.

Загальна маса ожеледних відкладень (власна вага льоду) повинна визначатися як сума маси льоду на метр довжини, де питому масу на метр необхідно взяти з таблиць (або розрахувати за допомогою додатка А). Можна зробити поправки на нахльостування крижаних наростів у точках перетину конструкційних елементів.

7.6.2 Напрямок утворення на конструкції крижаних наростів крильчатої форми

Оптимальною для визначення ожеледного навантаження є ситуація, коли напрямок вітру під час обледеніння відомий. У такому випадку крижані нарости будуть утворюватися відповідно до цього

For high ICRs, icing dimensions (Tables 5 to 7) can develop considerable icing overlaps at intersections of structural members, because of the ice thickness. Ice masses may be reduced to take into account overlaps (the iced length of a member is shorter than the structural length of the same member). As mentioned above, it is also possible that icing will grow into a solid structure.

It is therefore important to be aware of the icing mechanisms when estimating the total ice load on such a type of structure.

The total ice mass (self-weight of ice) should be found as the sum of ice masses per metre unit length, where the specific mass per metre is taken from the tables (or calculated from annex A). Adjustments for overlapping of ice at intersections of structural members may be made.

7.6.2 Direction of ice vanes on the structure

The optimum situation for determining ice load is when information about the icing wind direction is known. For such a case the ice vanes accrete in this known, fixed wind direction regardless of the wind directions used for

відомого, фіксованого напрямку вітру, незалежно від напрямку вітрової дії, застосованого при розрахунку конструкції без обледеніння.

Однак такої ситуації може і не бути, і тоді вітрові навантаження повинні розраховуватися, виходячи з найбільш несприятливих умов. У цьому випадку розташування на конструкції крижаних наростів крильчатої форми слід розглядати так, ніби напрямок ожеледно-вітрового навантаження є перпендикулярним до напрямку вітру, який використовувався для розрахунку конструкції без обледеніння. Оскільки багато конструкцій потребують дослідження за кількома напрямками вітру, дану процедуру слід виконувати для кожного з напрямків.

Оскільки різні поперечні перерізи конструкції мають різні розміри (наприклад, ширина профілю), якщо дивитися з різних напрямків у горизонтальній площині, то відповідно будуть змінюватися і розміри крижаних наростів. Тому для кожного напрямку вітру повинні виконуватися нові розрахунки кількості ожеледних відкладень.

the design of the uniced structure.

This situation, however, might not occur, and in those cases the calculation of wind forces shall be determined under the most unfavourable assumption. This is that the ice vanes should be placed on the structure as if the icing wind direction is perpendicular on the direction of the wind used for the design of the uniced structure. Because many structures need to be investigated for several wind directions, this procedure should be carried out for each wind direction.

Because many structural cross sections have different dimensions (e.g. profile width) when seen from different directions in the horizontal plane, the ice vanes' dimensions will change as well. Therefore new calculations of amounts of ice must be carried out for each wind direction.

Примітка. Можна використовувати більш простий метод розрахунку («із запасом»): визначте напрямок обледеніння, який спричиняє максимальне вітрове навантаження на конструкцію. Використовуйте дане ожеледно-вітрове навантаження для однієї і тієї самої ситуації для всіх досліджуваних напрямків вітру.

7.6.3 Обледеніння елементів, що мають нахил у напрямку вітру

Поздовжня вісь крижаного наросту крильчатої форми повинна завжди знаходитися в горизонтальному положенні, завдяки чому всі розміри наросту будуть вимірюватися в горизонтальній площині.

Оскільки нахил у бік вітру вимірюється в горизонтальній площині (див. рис. 6), маса льоду вздовж осі елемента становить $m \sin \alpha$, де m визначається за таблицями.

Для того, щоб завжди отримувати значення для обледеніння на горизонтальних елементах із поздовжньою віссю в напрямку вітру, кут α не повинен розглядатися менше 10° , що відповідає зміні напрямку вітру (у всіх площинах) $\pm 10^\circ$ під час обледеніння.

NOTE A more simple («on the safe side») calculation may be used: Find the icing direction which produces the greatest wind action on the structure in question. Use this wind action and ice load for the same situation for all wind directions to be investigated.

7.6.3 Icing on members inclined to the wind direction

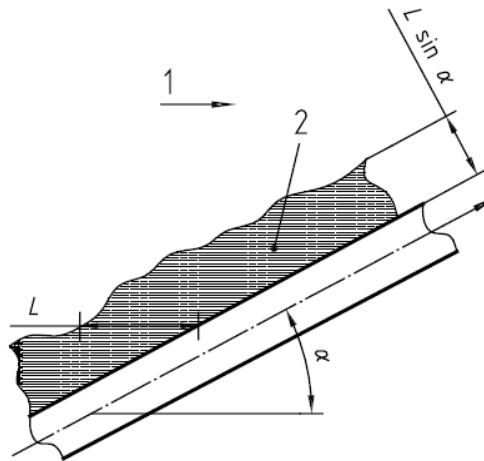
The length axis of ice vanes shall always be horizontal, so all dimensions of ice are measured in the horizontal plane.

The inclination to the wind is measured in the horizontal plane, see Figure 6, so ice mass along the axis of a member is $m \sin \alpha$, where m is found from the tables.

In order always to obtain some ice also on horizontal members with length axis in the wind direction, the angle α shall not be considered smaller than 10° corresponding to a change of wind direction (in all planes) of $\pm 10^\circ$ during ice accretion.

Примітка. Це означає, що на стрижні, теоретично розташованому під час обледеніння паралельно до напрямку вітру, утворення крижаного наросту відбудеться під кутом падіння 10° , внаслідок чого товщина льоду складатиме $L \sin 10^\circ$, де L – це довжина крижаного наросту крильчатої форми, взята з таблиці. Маса льоду, виміряна вздовж стрижня, складе $m \sin 10^\circ$, де m також береться з таблиць (або розраховується за допомогою рівнянь із додатка А).

NOTE This means that a bar theoretically situated parallel to the icing wind direction will at least get ice from an angle of incidence of 10° , resulting in ice thickness of $L \sin 10^\circ$, where L is the ice vane length from the tables. The ice masses measured along the bar length will be $m \sin 10^\circ$ as well, where m is found from the tables (or calculated based on the equations in annex A).



Позначки:
 1 – напрям вітру
 2 – маса льоду, m , на одиницю довжини

Key
 1 Wind direction
 2 Ice mass, m , per unit length

Рисунок 6 – Розрахунки для похилих елементів (круглий стрижень показаний у горизонтальній площині)
Figure 6 – Calculations for inclined members (round bar shown in horizontal plane)

8 ВІТРОВІ ДІЇ НА ОБЛЕДЕНІЛІ КОНСТРУКЦІЇ

8.1 Загальні положення

Вітрові дії, як правило, розраховуються за стандартними методиками (див. ISO 4355). Проте згідно з цим стандартом розміри і коефіцієнти опору з ожеледними відкладеннями змінюються порівняно з ситуацією «без ожеледних відкладень».

Для того, щоб зробити розрахунок вітрових навантажень для конструкції в обледенілому стані, потрібні значення коефіцієнта опору C_i для обледенілої конструкції. У більшості випадків значення C_i відрізняються від значень коефіцієнтів опору C_0 для конструкції без обледеніння. При цьому значення C_i можуть бути певною мірою пов'язані зі значеннями C_0 , що можна застосовувати для отримання значень C_i .

Майже для будь-якої форми і розміру можна знайти інформацію стосовно значень C_0 , що, разом із даними щодо поверхневого стану

8 WIND ACTIONS ON ICED STRUCTURES

8.1 General

Wind actions are in principle calculated in accordance with standard procedures for wind-load calculations (see ISO 4355). However, dimensions and drag coefficients with ice are changed compared to «without ice» in accordance with this International Standard.

To be able to calculate wind actions for a structure in an iced condition, values of the drag coefficient for the iced structure, C_i are necessary. In most cases C_i values are different from the drag coefficients for the uniced structure, C_0 . The C_i values however, can to some extent be connected to the C_0 values, which can be made use of in stipulating C_i values.

For almost any shape and dimension it is possible to find information about C_0 values and this, combined with the knowledge of the

паморозі, використовується для розрахунку значень C_i , наведених нижче.

Всі значення C_i повинні використовуватися як розміри обледенілого об'єкта, які є більшими за розміри об'єкта без льоду.

Коефіцієнт опору завжди є дійсним для напрямку вітру, перпендикулярного площині, у якій знаходиться поздовжня вісь об'єкта (профілю). Інші кути падіння для даної площини повинні коригуватися, наприклад, за допомогою рівнянь, наведених у 8.3.

8.2 Окремі елементи

8.2.1 Загальні положення

Такі елементи зазвичай є профілями різних форм і розмірів поперечного перерізу. Існуючі стандарти наводять значення C_0 (перпендикулярно довжині, без обледеніння) для всіх типів застосовуваних профілів.

Коефіцієнт опору для обледенілого елемента залежить від типу профілю, його значення C_0 , льодового класу, типу обледеніння, ширини елемента і напрямку вітру

surface condition of rime, has been used to stipulate the C_i values given below.

All C_i values shall be used on the iced dimensions, which are greater than without ice.

The drag coefficient is always valid for wind direction perpendicular to the plane containing the length axis of the object (profile). Other angles of incidence to this plane should be adjusted for, for example by using the equations given in 8.3.

8.2 Single members

8.2.1 General

Such elements are normally profiles of different cross-sectional shapes and sizes. Existing standards give C_0 values (perpendicular to length, without ice) for all types of profiles used.

The drag coefficient of an iced member depends on the type of profile, its C_0 value, the ice class, the type of ice, the width of the member and the wind direction compared to the axis of ice

відносно осі крижаного наросту.

8.2.2 Коефіцієнти опору для ожеледі

Для обледенілих елементів важливо використовувати обґрунтовані значення коефіцієнта опору; зазвичай вони відрізняються від значень для тих самих елементів без обледеніння.

Значення в табл. 10–15 обрані, виходячи з типових природних форм крижаних наростів і звичайних використовуваних значень для перерізів приблизно таких самих форм і розмірів, як і обледенілі елементи.

Якщо є можливість знайти більш достовірні значення, це потрібно зробити. Однак, якщо це неможливо, слід використовувати коефіцієнти, наведені нижче.

Примітка. Вважається, що ожеледі відкладення розподіляються рівномірним шаром по всій поверхні об'єкта (див. 7.4). Така модель обледеніння прагне вирівняти поперечний переріз елемента, забезпечуючи тим самим більш або менш рівномірну форму. Основний ефект застосування коефіцієнта опору полягає в припущенні, що значення C_i будуть збільшуватися для поперечних перерізів круглої форми і зменшуватися на поперечних перерізах з крайками у порівнянні зі значеннями без обледеніння; при цьому що вище льодовий

accretion.

8.2.2 Drag coefficients for glaze

It is important to use reasonable values for drag coefficient on iced members, and they normally will differ from values for the same members without ice.

The values in Tables 10 to 15 have been chosen based on typical natural shapes of ice accretions and normally used values for sections of approximately same shapes and dimensions as the iced members.

It might be possible to find more reliable values, and if so this should be done. However, if this is not possible, the coefficients below should be used.

NOTE Glaze is considered to be deposited as a uniform layer of ice on the whole surface of an object, see 7.4. This accretion model tends to smooth out the differences in the cross section of the member, leading towards a more or less uniform shape. The main effect concerning drag coefficients is that C_i values are expected to increase on circular cross sections and to decrease on edged cross sections compared to values without ice, and the effect is stronger the higher is the IC.

клас (IC), то сильніше виявляється цей ефект.

Кінцеве значення C_i призначене для найвищого льодового класу IC, який становить близько 1,4 від очікуваного для поперечного перерізу круглої форми з шорсткою поверхнею.

Табл. 10 містить рекомендовані значення C_i для різних значень C_0 і для всіх льодових класів ICG. Слід зазначити, що для високих льодових класів ICG можливе утворення бурульок, що може призвести до збільшення значень C_i . Ця модель може застосовуватися до елементів, ширина яких без обледеніння становить приблизно 0,3 м.

Великі суцільні об'єкти менше піддаються обледенінню. Тому вважається, що ефект ожеледі можна ігнорувати для елементів, ширина яких складає 5 м і більше.

The final C_i value is for the highest IC estimated to be about 1,4 as for a circular cross section with a rough surface.

Table 10 contains recommended values of C_i for different values of C_0 and for all ICGs. It should be noted that at high ICGs icicles can occur and can cause increased C_i values. This model may be assumed for members up to a width without ice of about 0,3 m.

Large, solid objects are less influenced by ice accretion. It is therefore considered that the effect of glaze may be neglected on members with a width of 5 m and above.

Таблиця 10 – Коефіцієнти C_i для ожеледі на стрижнях

Table 10 – C_i coefficients for glaze on bars

Льодовий клас (IC) Ice class (IC)	Товщина стінки ожеледі, мм Ice thickness, mm	Коефіцієнти C_i для ожеледі на стрижнях C_i coefficients for glaze on bars						
		Коефіцієнти опору без обледеніння, C_0 Drag coefficients without ice, C_0						
		0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
G1	10	0,68	0,88	1,08	1,28	1,48	1,68	1,88
G2	20	0,86	1,01	1,16	1,31	1,46	1,61	1,76
G3	30	1,04	1,14	1,24	1,34	1,44	1,54	1,64
G4	40	1,22	1,27	1,32	1,37	1,42	1,47	1,52
G5	50	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
G6	Використовується у випадку екстремального обледеніння To be used for extreme ice accretions							

Такі значення C_i рекомендується використовувати для об'єктів шириною від 0,3 м до 5,0 м; вони були

The following C_i values are recommended used for object width between 0,3 m and 5,0 m, and have been

розраховані за допомогою лінійної інтерполяції за найважливішими параметрами: товщина стінки ожеледі, значення C_0 і ширина елемента.

calculated using linear interpolation on the important parameters: glaze thickness, C_0 values and member width.

Для об'єктів $>5,0$ м можна припустити, що значення C_i дорівнюють C_0 (без обледеніння).

For object width $>5,0$ m, C_i values can be assumed equal to C_0 (without ice accretion).

У табл. 11–15 наведено значення C_i для великих об'єктів і льодових класів OCG1–G5.

Tables 11 to 15 show C_i values for large objects and ICG1-G5.

Таблиця 11 – Коефіцієнти C_i для ожеледі, ICG1, на великих об'єктах

Table 11 – C_i coefficients for glaze, ICG1, large objects

Ширина об'єкта, м Object width, m	Коефіцієнти C_i для ожеледі на великих об'єктах C_i coefficients for glaze, large objects						
	Коефіцієнти опору без обледеніння, C_0 Drag coefficients without ice, C_0						
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$\leq 0,3$	0,68	0,88	1,08	1,28	1,48	1,68	1,88
1,0	0,65	0,86	1,07	1,28	1,48	1,69	1,90
2,0	0,61	0,83	1,05	1,27	1,49	1,71	1,92
3,0	0,58	0,81	1,03	1,26	1,49	1,72	1,95
$\geq 5,0$	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

Таблиця 12 – Коефіцієнти C_i для ожеледі, ICG2, на великих об'єктах

Table 12 – C_i coefficients for glaze, ICG2, large objects

Ширина об'єкта, м Object width, m	Коефіцієнти C_i для ожеледі на великих об'єктах C_i coefficients for glaze, large objects						
	Коефіцієнти опору без обледеніння, C_0 Drag coefficients without ice, C_0						
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$\leq 0,3$	0,86	1,01	1,16	1,31	1,46	1,61	1,76
1,0	0,81	0,97	1,14	1,30	1,47	1,63	1,80
2,0	0,73	0,92	1,10	1,29	1,47	1,66	1,85
3,0	0,65	0,86	1,07	1,28	1,48	1,69	1,90
$\geq 5,0$	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

Таблиця 13 – Коефіцієнти C_i для ожеледі, ICG3, на великих об'єктах

Table 13 – C_i coefficients for glaze, ICG3, large objects

Ширина об'єкта, м Object width, m	Коефіцієнти C_i для ожеледі на великих об'єктах C_i coefficients for glaze, large objects						
	Коефіцієнти опору без обледеніння, C_0 Drag coefficients without ice, C_0						
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$\leq 0,3$	1,04	1,14	1,24	1,34	1,44	1,54	1,64
1,0	0,96	1,08	1,20	1,33	1,45	1,57	1,69
2,0	0,84	1,00	1,15	1,31	1,46	1,62	1,77
3,0	0,73	0,92	1,10	1,29	1,47	1,66	1,85
$\geq 5,0$	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

Таблиця 14 – Коефіцієнти C_i для ожеледі, ICG4, на великих об'єктах

Table 14 – C_i coefficients for glaze, ICG4, large objects

Ширина об'єкта, м Object width, m	Коефіцієнти C_i для ожеледі на великих об'єктах C_i coefficients for glaze, large objects						
	Коефіцієнти опору без обледеніння, C_0 Drag coefficients without ice, C_0						
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$\leq 0,3$	1,22	1,27	1,32	1,37	1,42	1,47	1,52
1,0	1,11	1,19	1,27	1,35	1,43	1,51	1,59
2,0	0,96	1,08	1,20	1,33	1,45	1,57	1,69
3,0	0,81	0,97	1,14	1,30	1,47	1,63	1,80
$\geq 5,0$	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

Таблиця 15 – Коефіцієнти C_i для ожеледі, ICG5, на великих об'єктах

Table 15 – C_i coefficients for glaze, ICG5, large objects

Ширина об'єкта, м Object width, m	Коефіцієнти C_i для ожеледі на великих об'єктах C_i coefficients for glaze, large objects						
	Коефіцієнти опору без обледеніння, C_0 Drag coefficients without ice, C_0						
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$\leq 0,3$	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
1,0	1,27	1,30	1,34	1,38	1,41	1,45	1,49
2,0	1,07	1,16	1,26	1,35	1,44	1,53	1,62
3,0	0,88	1,03	1,17	1,31	1,46	1,60	1,74
$\geq 5,0$	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

8.2.3 Коефіцієнти опору для обмерзання памороззю

Для обледенілих елементів важливо використовувати обґрунтовані значення коефіцієнтів опору, які зазвичай відрізняються від значень для тих самих елементів без обледеніння.

Наведені нижче значення були обрані, виходячи з типових природних форм обледеніння і зазвичай використовуваних значень для перерізів приблизно таких самих форм і розмірів, як і обледенілі елементи.

Якщо є можливість знайти більш достовірні значення, це потрібно зробити. Однак якщо це неможливо, слід використовувати коефіцієнти, наведені нижче.

Примітка 1. Опис заданої моделі обмерзання памороззю наведено в 7.6.

Як і при обмерзанні ожеледдю, так і внаслідок обмерзання памороззю різниця між коефіцієнтами опору для профілів з різними формами поперечного перерізу стає мінімальною.

Для найвищих льодових класів ICR очікується, що тонкі елементи будуть мати однакові значення C_i незалежно від початкових форм профілів.

Значенням C для певного не обледенілого поперечного перерізу є C_0 .

8.2.3 Drag coefficients for rime

It is important to use reasonable values for drag coefficients on iced members, and they normally will differ from values for the same members without ice.

The values below have been chosen based on typical natural shapes of ice accretions and normally used values for sections of approximately same shapes and dimensions as the iced members.

It might be possible to find more reliable values, and if so this should be done. However, if this is not possible, the coefficients below should be used.

NOTE 1 The assumed model for accretion of rime is described in 7.6.

As for glaze, rime accretion also diminishes the differences of drag coefficients for profiles with different cross-sectional shapes.

For the most severe ICRs all slender members are expected to have the same C_i values, no matter what initial profile shapes.

The C value for the particular cross section without ice is C_0 . In ICR9 the C_i value is

Вважається, що згідно з ICR9 значення C_i дорівнює 1,6 для всіх значень ширини об'єкта (без обледеніння) до 300 мм.

Всі наступні значення C_i дійсні для напрямку вітру, перпендикулярного до крижаного наросту крильчатої форми і поздовжньої осі елемента.

Для льодових класів ICR від R1 до R9 значення визначаються за допомогою лінійної інтерполяції з урахуванням важливих параметрів.

У табл. 16 наведено рекомендовані значення C_i для різних значень C_0 та для тонких елементів.

estimated to be 1,6 for all object widths (without ice) up to 300 mm.

All the following C_i values are valid for a wind direction perpendicular to the ice vane and the length axis of and the member.

For ICRs between R1 and R9, C values shall be found by linear interpolation with respect to the important parameters.

Table 16 shows recommended values of C_i for different values of C_0 and for slender objects.

Таблиця 16 – Коефіцієнти C_i для паморозі на стрижнях

Table 16 – C_i coefficients for rime on bars

Льодовий клас (IC) IC	Маса ожеледних відкладень, m , кг/м Ice mass, m , kg/m	Коефіцієнти C_i для паморозі на стрижнях C_i coefficients for rime on bars						
		Коефіцієнти опору без обледеніння, C_0 Drag coefficient without ice, C_0						
		0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
R1	0,5	0,62	0,84	1,07	1,29	1,51	1,73	1,96
R2	0,9	0,74	0,94	1,13	1,33	1,52	1,72	1,91
R3	1,6	0,87	1,03	1,20	1,37	1,53	1,70	1,87
R4	2,8	0,99	1,13	1,27	1,41	1,54	1,68	1,82
R5	5,0	1,11	1,22	1,33	1,44	1,56	1,67	1,78
R6	8,9	1,23	1,32	1,40	1,48	1,57	1,65	1,73
R7	16,0	1,36	1,41	1,47	1,52	1,58	1,63	1,69
R8	28,0	1,48	1,51	1,53	1,56	1,59	1,62	1,64
R9	50,0	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
R10	Використовується у випадку екстремального обледеніння To be used for extreme ice accretions							

Примітка 2. Як і для обмерзання ожеледдю, вважається, що модель паморозевого обмерзання є дійсною для елементів шириною до 0,3 м. Для елементів більшої ширини коефіцієнти опору в меншій

NOTE 2 As for glaze, the model for rime is assumed valid up to a member width of 0,3 m. For wider members the drag coefficients are less influenced by ice accretion, and the effect may be neglected for object widths above

мірі залежать від обледеніння, і його ефект для об'єктів з шириною понад 5,0 м можна ігнорувати.

5,0 м.

У табл. 17–25 наведено значення C_i для великих об'єктів і льодових класів від ICR1 до ICR9.

Tables 17 to 25 show C_i values for large objects and ICR1 to ICR9.

Таблиця 17 – Коефіцієнти C_i для паморозі, ICG1, на великих об'єктах

Table 17 – C_i coefficients for rime, ICR1, large objects

Ширина об'єкта, Object width, <i>m</i>	Коефіцієнти C_i для паморозі на великих об'єктах C_i coefficients for rime, large objects						
	Коефіцієнти опору без обледеніння, C_0 Drag coefficient without ice, C_0						
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
≤0,3	0,62	0,84	1,07	1,29	1,51	1,73	1,96
0,5	0,62	0,84	1,06	1,29	1,51	1,73	1,96
1,0	0,60	0,83	1,06	1,28	1,51	1,74	1,96
1,5	0,59	0,82	1,05	1,28	1,51	1,74	1,97
2,0	0,58	0,81	1,04	1,27	1,51	1,74	1,97
2,5	0,57	0,80	1,04	1,27	1,51	1,74	1,98
3,0	0,55	0,79	1,03	1,27	1,50	1,74	1,98
4,0	0,53	0,77	1,01	1,26	1,50	1,75	1,99
≥5,0	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

Таблиця 18 – Коефіцієнти C_i для паморозі, ICG2, на великих об'єктах

Table 18 – C_i coefficients for rime, ICR2, large objects

Ширина об'єкта, Object width, <i>m</i>	Коефіцієнти C_i для паморозі на великих об'єктах C_i coefficients for rime, large objects						
	Коефіцієнти опору без обледеніння, C_0 Drag coefficient without ice, C_0						
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
≤0,3	0,74	0,94	1,13	1,33	1,52	1,72	1,91
0,5	0,73	0,93	1,13	1,32	1,52	1,72	1,91
1,0	0,71	0,91	1,11	1,32	1,52	1,72	1,92
1,5	0,68	0,89	1,10	1,31	1,52	1,73	1,93
2,0	0,66	0,87	1,09	1,30	1,51	1,73	1,94
2,5	0,63	0,85	1,07	1,29	1,51	1,73	1,95
3,0	0,60	0,83	1,06	1,28	1,51	1,74	1,96
4,0	0,55	0,79	1,03	1,27	1,50	1,74	1,98
≥5,0	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

Таблиця 19 – Коефіцієнти C_i для паморозі, ICG3, на великих об'єктах
Table 19 – C_i coefficients for rime, ICR3, large objects

Ширина об'єкта, Object width, m	Коефіцієнти C_i для паморозі на великих об'єктах C_i coefficients for rime, large objects						
	Коефіцієнти опору без обледеніння, C_0 Drag coefficient without ice, C_0						
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$\leq 0,3$	0,87	1,03	1,20	1,37	1,53	1,70	1,87
0,5	0,85	1,02	1,19	1,36	1,53	1,70	1,87
1,0	0,81	0,99	1,17	1,35	1,53	1,71	1,89
1,5	0,77	0,96	1,15	1,34	1,52	1,71	1,90
2,0	0,73	0,93	1,13	1,32	1,52	1,72	1,91
2,5	0,70	0,90	1,11	1,31	1,52	1,72	1,93
3,0	0,66	0,87	1,09	1,30	1,51	1,73	1,94
4,0	0,58	0,81	1,04	1,27	1,51	1,74	1,97
$\geq 5,0$	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

Таблиця 20 – Коефіцієнти C_i для паморозі, ICG4, на великих об'єктах
Table 20 – C_i coefficients for rime, ICR4, large objects

Ширина об'єкта, Object width, m	Коефіцієнти C_i для паморозі на великих об'єктах C_i coefficients for rime, large objects						
	Коефіцієнти опору без обледеніння, C_0 Drag coefficient without ice, C_0						
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$\leq 0,3$	0,99	1,13	1,27	1,41	1,54	1,68	1,82
0,5	0,97	1,11	1,26	1,40	1,54	1,69	1,83
1,0	0,92	1,07	1,23	1,38	1,54	1,69	1,85
1,5	0,86	1,03	1,20	1,37	1,53	1,70	1,87
2,0	0,81	0,99	1,17	1,35	1,53	1,71	1,89
2,5	0,76	0,95	1,14	1,33	1,52	1,71	1,91
3,0	0,71	0,91	1,11	1,32	1,52	1,72	1,92
4,0	0,60	0,83	1,06	1,28	1,51	1,74	1,96
$\geq 5,0$	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

Таблиця 21 – Коефіцієнти C_i для паморозі, ICG5, на великих об'єктах
Table 21 – C_i coefficients for rime, ICR5, large objects

Ширина об'єкта, Object width, m	Коефіцієнти C_i для паморозі на великих об'єктах C_i coefficients for rime, large objects						
	Коефіцієнти опору без обледеніння, C_0 Drag coefficient without ice, C_0						
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$\leq 0,3$	1,11	1,22	1,33	1,44	1,56	1,67	1,78
0,5	1,09	1,20	1,32	1,44	1,55	1,67	1,79
1,0	1,02	1,15	1,28	1,42	1,55	1,68	1,81
1,5	0,96	1,10	1,25	1,39	1,54	1,69	1,83
2,0	0,89	1,05	1,21	1,37	1,54	1,70	1,86
2,5	0,83	1,00	1,18	1,35	1,53	1,71	1,88
3,0	0,76	0,95	1,14	1,33	1,52	1,71	1,91
4,0	0,63	0,85	1,07	1,29	1,51	1,73	1,95
$\geq 5,0$	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

Таблиця 22 – Коефіцієнти C_i для паморозі, ICG6, на великих об'єктах
Table 22 – C_i coefficients for rime, ICR6, large objects

Ширина об'єкта, Object width, m	Коефіцієнти C_i для паморозі на великих об'єктах C_i coefficients for rime, large objects						
	Коефіцієнти опору без обледеніння, C_0 Drag coefficient without ice, C_0						
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$\leq 0,3$	1,23	1,32	1,40	1,48	1,57	1,65	1,73
0,5	1,20	1,29	1,38	1,47	1,56	1,65	1,74
1,0	1,12	1,23	1,34	1,45	1,56	1,66	1,77
1,5	1,05	1,17	1,30	1,42	1,55	1,68	1,80
2,0	0,97	1,11	1,26	1,40	1,54	1,69	1,83
2,5	0,89	1,05	1,21	1,37	1,54	1,70	1,86
3,0	0,81	0,99	1,17	1,35	1,53	1,71	1,89
4,0	0,66	0,87	1,09	1,30	1,51	1,73	1,94
$\geq 5,0$	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

Таблиця 23 – Коефіцієнти C_i для паморозі, ICG7, на великих об'єктах
Table 23 – C_i coefficients for rime, ICR7, large objects

Ширина об'єкта, Object width, m	Коефіцієнти C_i для паморозі на великих об'єктах C_i coefficients for rime, large objects						
	Коефіцієнти опору без обледеніння, C_0 Drag coefficient without ice, C_0						
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$\leq 0,3$	1,36	1,41	1,47	1,52	1,58	1,63	1,69
0,5	1,32	1,38	1,45	1,51	1,57	1,64	1,70
1,0	1,23	1,31	1,40	1,48	1,57	1,65	1,74
1,5	1,14	1,24	1,35	1,45	1,56	1,66	1,77
2,0	1,05	1,17	1,30	1,42	1,55	1,68	1,80
2,5	0,96	1,10	1,25	1,39	1,54	1,69	1,83
3,0	0,86	1,03	1,20	1,37	1,53	1,70	1,87
4,0	0,68	0,89	1,10	1,31	1,52	1,73	1,93
$\geq 5,0$	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

Таблиця 24 – Коефіцієнти C_i для паморозі, ICG8, на великих об'єктах
Table 24 – C_i coefficients for rime, ICR8, large objects

Ширина об'єкта, Object width, m	Коефіцієнти C_i для паморозі на великих об'єктах C_i coefficients for rime, large objects						
	Коефіцієнти опору без обледеніння, C_0 Drag coefficient without ice, C_0						
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$\leq 0,3$	1,48	1,51	1,53	1,56	1,59	1,62	1,64
0,5	1,44	1,47	1,51	1,55	1,59	1,62	1,66
1,0	1,33	1,39	1,45	1,51	1,58	1,64	1,70
1,5	1,23	1,31	1,40	1,48	1,57	1,65	1,74
2,0	1,12	1,23	1,34	1,45	1,56	1,66	1,77
2,5	1,02	1,15	1,28	1,42	1,55	1,68	1,81
3,0	0,92	1,07	1,23	1,38	1,54	1,69	1,85
4,0	0,71	0,91	1,11	1,32	1,52	1,72	1,92
$\geq 5,0$	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

Таблиця 25 – Коефіцієнти C_i для паморози, ICG9, на великих об'єктах
Table 25 – C_i coefficients for rime, ICR9, large objects

Ширина об'єкта, Object width, <i>m</i>	Коефіцієнти C_i для паморози на великих об'єктах C_i coefficients for rime, large objects						
	Коефіцієнти опору без обледеніння, C_0 Drag coefficient without ice, C_0						
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
≤0,3	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
0,5	1,55	1,56	1,57	1,59	1,60	1,61	1,62
1,0	1,44	1,47	1,51	1,55	1,59	1,62	1,66
1,5	1,32	1,38	1,45	1,51	1,57	1,64	1,70
2,0	1,20	1,29	1,38	1,47	1,56	1,65	1,74
2,5	1,09	1,20	1,32	1,44	1,55	1,67	1,79
3,0	0,97	1,11	1,26	1,40	1,54	1,69	1,83
4,0	0,73	0,93	1,13	1,32	1,52	1,72	1,91
≥5,0	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

8.3 Кут падіння

Коефіцієнти опору залежать від напрямку вітру, перпендикулярного до поздовжньої осі елемента і до ширини (обледенілого) елемента.

Якщо кут між напрямком вітру і площиною, у якій знаходиться поздовжня вісь елемента, відрізняється від 90°, значення сили вітру $F_w(\theta)$ можуть бути зменшені.

Примітка. F_w – це сила вітру, що діє на елемент перпендикулярно. Якщо елемент розташований під похилим кутом до напрямку вітру, сила дії вітру на цей елемент змінюється. На рис. 7 показані різні, зазвичай використовувані компоненти:

8.3 Angle of incidence

Drag coefficients refer to a wind direction perpendicular to the length axis of the member and to the width of the (iced) member.

If the angle between the wind direction and the plane containing the length axis of the member differs from 90°, the wind forces $F_w(\theta)$ may be reduced.

NOTE F_w is wind force perpendicular on a member. If the member is situated at a sloping angle to the wind direction, the wind forces on this member change. Figure 7 shows the different components usually needed:

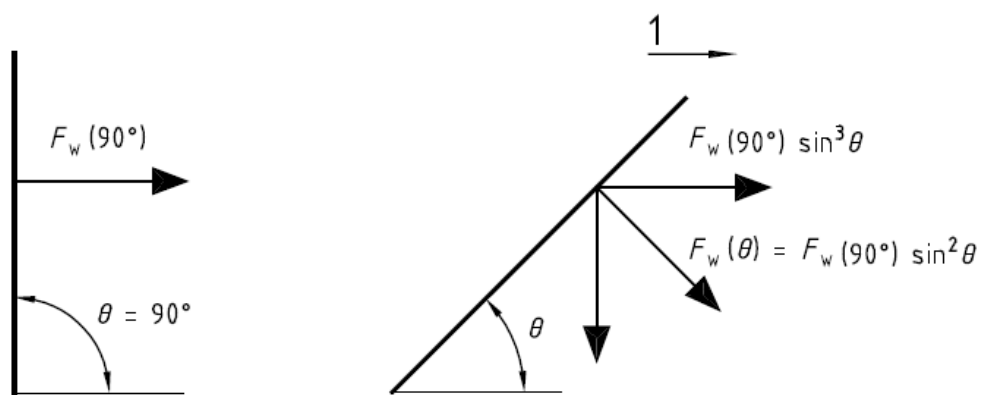
$$F_w(\theta) = F_w(90^\circ) \sin^2 \theta$$

де θ – кут падіння, виміряний у площині напрямку вітру і поздовжньої осі елемента.

$F_w(\theta)$ діє перпендикулярно до поздовжньої осі об'єкта. Тому компонентом сили вітру, що діє на об'єкт у напрямку вітру, є $F_w(90^\circ)\sin^3\theta$.

where θ is the angle of incidence measured in the plane of wind direction and the member's length axis.

$F_w(\theta)$ is acting perpendicular to the length axis of the object. Therefore, the component of the wind force on the object in the wind direction is $F_w(90^\circ)\sin^3\theta$.



Позначки:
1 – напрямок вітру.

Key
1 Wind direction.

Рисунок 7 – Сили, що діють на похилий елемент
Figure 7 – Forces on an inclined member

8.4 Гратчасті конструкції

Як правило, вітрове навантаження на гратчасту конструкцію визначається як навантаження без обледеніння. Тому розрахункова модель для вітрового навантаження не є частиною цього стандарту; вона повинна використовуватися в тому ж вигляді, як і для нормальних умов.

8.4 Lattice structures

Wind load on an iced lattice structure shall in principle be found as if there were no ice. Therefore the calculating model for wind load is not part of this International Standard, but should be the same as normally used.

Параметрами, які відрізняються від параметрів без обледеніння, є розміри, коефіцієнти опору і результати їх змінення. Тому в нормальних умовах необхідно використовувати модель вітрового навантаження, яка включає дані параметри.

Конструкційні розміри повинні збільшуватися зі збільшенням товщини ожеледного відкладення, якщо дивитися з боку напрямку вітру; при цьому коефіцієнти опору повинні змінюватися так, щоб відповідати обледенілим елементам. Модель вітрового навантаження часто базується на певних розрахунках коефіцієнта суцільності; в цьому випадку цим коефіцієнтом є параметр, який залежить від розмірів конструкції в стані обледеніння.

Примітка. Вітрове навантаження на ґратчасту конструкцію є функцією коефіцієнта суцільності τ .

Якщо конструкційна ширина, де наявна система в'язей або обладнання для технічного обслуговування тощо, змінюється по висоті, значення τ можна розрахувати для різних рівнів конструкції, але завжди тільки з боку напрямку вітру.

До тіньової площі, що зазнає

The only differences compared to values without ice are the values of: dimensions, drag coefficients and the results of these changes. Normally it therefore is necessary to use a wind load model which include these parameters.

Structural dimensions shall be increased with the thickness of ice as seen from the direction of the wind, and drag coefficients shall be changed to fit the iced elements. The wind load model is often based on some kind of solidity ratio calculations and, in that case, this ratio is the parameter influenced by the structural dimensions in the iced condition.

NOTE Wind load on a lattice structure is a function of the solidity ratio, τ .

If the structural width, the bracing system or service equipment, etc. vary along height, τ may be calculated for different levels of the structure, but always as seen from the wind direction.

The exposed shadow area should include

ожеледного впливу, слід включати навітряну частину конструкції, а також внутрішні частини конструкції (сходи, ліфти, троси тощо).

Розраховане значення $\tau = \tau'$ має використовуватися на загальній площі з обледенінням для визначення тіньової площі, що зазнає ожеледного впливу та застосовується для визначення вітрового навантаження; після цього розрахунки можуть проводитися (щодо площі, яка зазнає ожеледного впливу) як для площі без обледеніння.

Зміна значення C порівняно з C_0 може враховуватися за допомогою коефіцієнта C_i/C_0 для тої чи іншої площі; при цьому вважається, що нарости паморозі будуть утворюватися перпендикулярно до напрямку вітру.

Для низьких льодових класів IC (стосовно ваги як ожеледних G, так і паморозевих відкладень R) ґратчаста конструкція може розглядатися як сума однорозмірних об'єктів. Такий самий принцип може використовуватися і при розрахунках вітрової дії; в цьому випадку слід дотримуватися правил, що стосуються необледенілої конструкції, використовуючи коефіцієнти опору і розміри крижаних наростів для обледенілих елементів згідно з цим стандартом.

Однак для більш високих льодових класів IC (особливо для паморозі R), згідно з якими спостерігається збільшення кількості

the windward part of the structure as well as the inside middle of the structure (ladders, elevators, cables, etc.).

The calculated value of $\tau = \tau'$ should be used on the total panel area with ice to find the exposed shadow area, used for calculations of wind action, and then calculations can be executed (concerning exposed area) as for without ice.

The change of C value compared to C_0 may be taken care of by using a factor C_i/C_0 on the area in question, and rime vanes are supposed to be perpendicular to the wind direction.

For low ICs (both Gs and Rs) a lattice structure could be treated as a sum of one-dimensional objects concerning the weight of ice. The same principle could be used concerning wind action calculations, in which case the rules for an ice-free structure should be followed, just using drag coefficients and ice dimensions for iced members in accordance with this International Standard.

However, for higher ICs (especially R), where amount of accreted ice is increasing, the exposed wind area is substantially higher and if

ожеледних відкладень, площа, яка піддається вітровому впливу, суттєво збільшується. Якщо льодовий клас ICR досить високий порівняно з конструкційними розмірами, ожеледні відкладення будуть збільшуватися одночасно, утворюючи суцільну обледенілу конструкцію.

На частинах ґратчастих конструкцій, розташованих з підвітряного боку, крижані нарости можуть бути меншими.

Якщо не зазначено інше, підвітряні частини конструкції можуть мати льодовий клас ICR на один рівень нижче, ніж клас ICR, визначений для конструкції (з навітряного боку).

Якщо такі ефекти включено в розрахунки, то слід використовувати моделі розрахунку вітрових навантажень, розроблені більш детально.

При цьому ні льодовий клас ICR1, ні льодові класи ICG зменшенню не підлягають.

9 КОМБІНОВАНИЙ ВПЛИВ ОЖЕЛЕДНИХ І ВІТРОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

9.1 Загальні положення

Ожеледні навантаження, що розглядаються у цьому стандарті, є характеристичними значеннями і визначаються як впливи з періодом повторюваності 50 років або ймовірністю щорічного перевищення 0,02.

the ICR is high enough compared to the structural dimensions, ice deposits will grow together and result in a solid, iced structure.

For lattice structures, the leeward parts of the structure can have reduced ice accretion.

If nothing else is specified, the leeward parts of the structure may have an ICR which is one level lower than the specified ICR for the (windward) structure.

If such effects are included in the calculations, more advanced wind load calculation models are needed.

However, ICR1 cannot be reduced, and neither can ICGs.

9 COMBINATION OF ICE LOADS AND WIND ACTIONS

9.1 General

Ice loads, described here, are characteristic loads and are estimated as actions with a return period of 50 years or an annual exceedence probability of 0,02.

Це означає, що ожеледне навантаження може використовуватися разом з іншими змінними навантаженнями в рамках стандартної системи часткових коефіцієнтів для комбінованих навантажень.

Всі основні впливи є характеристичними значеннями.

Принципи застосування часткових коефіцієнтів, навантажень і їх комбінацій наводяться в ISO 2394:1998, розділи 1, 6.2 та 9.

9.2 Комбіновані навантаження

У цьому стандарті розглядаються два види комбінованого ожеледно-вітрового навантаження.

В одному випадку поєднання навантажень вплив вітру з низькою ймовірністю перевищення зазвичай комбінується з ожеледним впливом із високою ймовірністю перевищення.

В іншому випадку при поєднанні навантажень високу ймовірність перевищення має вітрова дія, а низьку ймовірність перевищення – ожеледне навантаження.

Льодовий клас IC також впливає на комбіновані навантаження, оскільки вважається, що високі вітрові

This means that ice load can be used together with other variable loads within the normal partial coefficient system for combined loads.

All basic actions are characteristic values.

Principles for the use of partial coefficient, loads and their combinations are given in ISO 2394:1998, clauses 1, 6.2 and 9.

9.2 Combined loads

Two combined load cases of wind and ice must be considered.

In one load case, the wind action with a low exceedence probability is normally combined with an ice load of high exceedence probability.

In the other load case, the wind action has a high exceedence probability and the ice load has a low one.

Also the IC has some influence on the combined load case, because heavy ice accretion (i.e. high ICs) is more likely

навантаження у більшій мірі характерні для сильного обледеніння (тобто для високих льодових класів ІС), ніж для низьких ІС. Однак при обмерзанні ожеледдю високі вітрові навантаження трапляються рідко до того, як лід знову розтане.

Примітка. На підставі зазначених припущень сформульовано наступні рекомендації для комбінованих ожеледно-вітрових навантажень (див. табл. 26).

to be followed by high wind speeds than low ICs. For glaze, however, such accretions are seldom followed by high wind speeds before the ice is melted again.

NOTE This leads to the recommendations for combination of actions from wind and ice given in Table 26.

Таблиця 26 – Принципи комбінування вітрових дій і ожеледних навантажень

Table 26 – Principles for combination of wind actions and ice loads

Комбінація Combination	Вітрова дія Wind action		Ожеледні навантаження Ice loads	
	Тиск вітру Wind pressure	T (роки) T (years)	Маса ожеледних відкладень Ice mass	T (роки) T (years)
I	$k \cdot q_{50}$	50	$\phi_{ice} \cdot m$	3
II	$\phi_w \cdot k \cdot q_{50}$	3	m	50

Вітер і ожеледь являють собою змінні характеристичні величини дій.

ϕ_{ice} і ϕ_w використовуються для зміни дій і навантаження з періодом повторюваності від 50 до 3 років. Коефіцієнт ϕ_{ice} використовується для скорочення 50-річного періоду повторюваності ожеледі до 3-річного періоду, при цьому, виходячи з повсякденного досвіду, рекомендується значення, близьке до 0,3.

Wind and ice are variable characteristic actions.

ϕ_{ice} and ϕ_w are used to change actions and load from 50-year to 3-year occurrence. The factor ϕ_{ice} is used to reduce 50-year ice to 3-year ice, and from to day's experience a value close to 0,3 could be recommended.

Значення φ_w можна взяти з відповідних стандартів, що розглядають вітрові навантаження і впливи.

φ_w shall be taken from relevant wind codes.

Значення коефіцієнта k представлені в табл. 27.

Factor k has values as shown in Table 27.

Примітка. Коефіцієнт φ_w необхідно взяти з національних стандартів з метою можливого зниження вітрової дії при одночасному впливі змінних навантажень. Коефіцієнт k слід використовувати для зниження тиску вітру, зважаючи на зменшення ймовірності одночасного впливу вітрового навантаження в умовах сильного обледеніння з періодом повторюваності 50 років.

NOTE The factor φ_w should be taken from national codes for the possible decrease of wind action for simultaneous variable actions. The factor k should be used to decrease wind pressure because of reduced probability for simultaneous 50 years wind action combined with heavy icing condition.

Таблиця 27 – Коефіцієнт для зниження тиску вітру
Table 27 – Factor for reduction of wind pressure

ICG	k	ICR	k
G1	0,40	R1	0,40
G2	0,45	R2	0,45
G3	0,50	R3	0,50
G4	0,55	R4	0,55
G5	0,60	R5	0,60
		R6	0,70
		R7	0,80
		R8	0,90
		R9	1,00

Нижче наведено основні дії, що застосовуються разом із комбінованим впливом вітру і ожеледі:

Basic actions used together with combinations of wind and ice action shall be the following:

- власна вага конструкції (без обледеніння);
- вітрова дія на обледенілу конструкцію;
- дія ожеледі на конструкцію [маса (власна вага) ожеледі].

Часткові коефіцієнти можна взяти з відповідних норм і стандартів.

10 НЕЗБАЛАНСОВАНЕ ОЖЕЛЕДНЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА ВІДТЯЖКИ

Асиметричний або незбалансований вплив ожеледі на конструкції або конструкційні елементи може призвести до виникнення ситуацій, які не були розглянуті у попередніх розділах.

У 8.4 розглянуто нормальну ситуацію, в якій підвітряна сторона конструкції має менші ожеледні відкладення, ніж навітряна сторона.

Оскільки ця ситуація може мати серйозні наслідки, вона вимагає до себе більш пильної уваги.

Дана ситуація характерна для таких конструкцій, як щогли з відтяжками, в яких деякі канатні відтяжки можуть зазнавати небезпечного обледеніння, тоді як інші

- self-weight of structure (without ice);

- wind action on iced structure;

- ice action on structure [mass (self-weight) of ice].

Partial coefficients are to be taken from relevant codes and standards.

10 UNBALANCED ICE LOAD ON GUYS

Asymmetric or unbalanced ice on structures or structural elements may result in situations which are not covered by the previous clauses.

In 8.4 the normal situation is mentioned, where the leeward side of a structure has reduced ice deposits compared to the windward part.

However, this effect may be much more predominant and therefore in such cases may need closer attention.

Typical structures where this effect is known often to cause problems are guyed masts where some of the guy ropes may be heavily iced, while the other guys have less or no ice. This can be due to the

відтяжки мають менші ожеледні навантаження чи не мають їх взагалі. Це може пояснюватися або нерівномірним обмерзанням, або падінням льоду.

З цієї причини для щогл із відтяжками можуть знадобитися додаткові дослідження, зокрема, асиметричних ожеледних навантажень, що впливають на відтяжки і, можливо, на самі щогли.

Примітка. Асиметричні ожеледні навантаження можуть виникати з різних причин. Нижче наведено типові ситуації, які спричиняють асиметричні навантаження і потребують додаткового вивчення:

- Крижані нарости починають падати з відтяжок. Це може призвести до того, що лід, падаючи з верхніх відтяжок, вдаряє по крижаних наростах на нижніх відтяжках, що спричиняє падіння льоду з деяких або всіх відтяжок в одному напрямку. Сам по собі цей процес викликає певні динамічні сили, зазначені в 5.3, але ситуація після падіння льоду утримується протягом тривалого періоду часу, і це є прикладом асиметричного ожеледного навантаження, що вимагає вивчення. Одна або всі відтяжки в одному напрямку можуть бути вільними від ожеледі, в той час як інші можуть бути повністю обледенілими.
- На деяких майданчиках обледеніння може відноситися до різних льодових класів IC на

accretion of ice or due to shedding of ice.

Therefore guyed masts might need additional investigation for load cases with asymmetric ice load on guys and perhaps also on the mast structure itself.

NOTE There are different ways that asymmetrical ice load may occur, and typical situations which result in asymmetric load cases and should be investigated, are following.

- Accreted ice on guys start falling off. This may result in situations where ice from upper guys hit lower guys and by this cause ice on (one or all) guys in the same direction to fall off. The event itself causes dynamic forces, mentioned in 5.3, but the situation after the fall can remain for a long time and is an example of an asymmetrical ice load case to be investigated. In one direction one or all guys may be without ice, while the rest may be fully iced.
- On certain sites, ice accretion can be of different ICs in different heights above terrain.

різній висоті над поверхнею землі. Така ситуація (див. 6.4) може призвести до того, що ожеледне навантаження на верхніх відтяжках буде істотно відрізнятися від ожеледного навантаження на нижніх відтяжках. Це, в свою чергу, може призвести до того, що різні групи відтяжок будуть мати різну жорсткість. Такі випадки вимагають більш ретельного дослідження.

– На деяких майданчиках переважає певний напрям обледеніння. Це може призвести до того, що інтенсивність обледеніння конструкцій з навітряного боку буде відрізнятися від інтенсивності обледеніння з підвітряного боку. Тобто в різних напрямках ступінь обмерзання відтяжок буде різним, що спричинить виникнення асиметричного ожеледного навантаження, яке впливає на конструкцію всієї щогли. Зокрема, це стосується, наприклад, радіоантен або інших великих антен, розташованих у навітряному напрямку або в близькому до нього, які можуть значною мірою сприяти виникненню асиметричного навантаження на конструкції.

11 ПРАКТИЧНІ МІРКУВАННЯ ЩОДО ПАДАЮЧОГО ЛЬОДУ

Якщо конструкція, з якої можливе падіння льоду, знаходиться поруч із рухом громадського транспорту, будівлями тощо, необхідно враховувати ризик ушкоджень, що можуть бути

This has been mentioned in 6.4, and may result in a situation where the ice load on upper guys are essentially different from the ice load on lower guys. This can cause variations in the stiffness of the different sets of guys. Such cases may also need closer investigation.

– On some sites a prevailing icing direction is very common. This may result in different ice accretions on the windward side of the structures (heavy icing) compared to the leeward side. This can cause different ice accretions on guys in different directions, but also result in asymmetrical ice load on the mast structure itself. Especially if for example radio-link antennas or other large antennas are placed in or near to the windward direction, they can give quite a contribution to asymmetrical load on the structures.

11 FALLING ICE CONSIDERATIONS

When a structure from which ice shedding may be expected is to be placed near public traffic, buildings, etc., the risk of damage from the impact of falling ice should be taken into account.

викликані падаючим льодом.

Якщо конструкція посилена відтяжками і льодовий клас визначено як R4, G2 або вище (див. розділ 7), то прохід або проїзд безпосередньо під дротами відтяжок (тобто улаштування доріг, пішохідних доріжок і т. і.) повинно бути заборонено.

Лід, що падає, може завдати травми персоналу і викликати серйозні пошкодження об'єктів, розташованих унизу. До них відносяться не тільки нижні частини самої конструкції, але й інші об'єкти, розташовані поруч. Тому ризик падіння льоду завжди повинен враховуватися при плануванні і виборі майданчиків під високі конструкції або інші об'єкти, що розміщуються поряд із такими конструкціями. З цією метою краще за все проконсультуватися з фахівцями або метеорологами. Якщо ж такої можливості немає, в якості орієнтира можна використовувати табл. 28.

Примітка. Інформація про ділянки будівельного майданчика, які можуть піддаватися впливу падаючого льоду, є досить обмеженою. Відомо лише, що ступінь такого впливу в значній мірі залежить від структури льоду, швидкості і напрямку вітру, від якого залежить напрям падіння льоду.

If a structure is guyed and the IC is R4, G2 or higher (see clause 7), there should not be public admittance to the areas located directly under the guy wires, e.g. roads, pathways and the like.

Falling ice can cause personal injury and excessive damage to objects below. This includes not only the lower parts of the tall structure itself, but also other facilities nearby. Thus, when planning sites for tall structures or other facilities near such structures, the risk of falling ice must be considered. Consulting an icing expert or a meteorologist is the best way to do this. However, if this cannot be done due to lack of data, for example, Table 28 may be used as a guideline.

NOTE There is very little information about the area of a site which can be hit by shedding ice. It depends strongly on the structure of the ice in question and the actual wind speeds occurring during shedding events, and the actual wind direction decides the direction of the falling ice.

Коли уламок льоду відривається від конструкції, його траєкторія визначається силою тяжіння і аеродинамічним опором. Точну траєкторію падіння передбачити доволі важко, оскільки уламки льоду мають різні розміри, густину і форму. Найбільш загальне правило зводиться до наступного: що вище швидкість вітру і що менше розміри уламки льоду, то більшою є відстань між конструкцією і точкою удару об землю.

When a piece of ice is released from a structure, gravity and wind drag determine its trajectory. Exact trajectories are difficult to predict because ice pieces are of different sizes, densities and shapes. Generally, the higher the wind speed and the smaller the ice dimensions, the longer is the distance between the structure and the impact location on the ground.

Таблиця 28 – Рекомендовані максимальні відстані для падаючого льоду
Table 28 – Recommended maximum distance for falling ice

Льодовий клас (IC) IC	Максимальна відстань для падаючого льоду Maximum distance for falling ice
R0 – R3 G0 – G1	зазвичай не враховується ^{a)} normally not considered ^{a)}
R4 – R6 G2 – G3	2/3 висоти конструкції 2/3 of structure height
R7 – R8 G4 – G5	дорівнює висоті конструкції Equal to structure height
R9 – R10	в 1½ більше висоти конструкції 1½ times structure height
^{a)} Навіть для льодових класів R2, R3 і G1 скупчення льоду може становити небезпеку для людей, що проходять поруч із конструкцією. Якщо існує ризик падіння льоду, такі зони слід на деякий час закривати. ^{a)} Even in IC R2, R3 and G1, some ice on the structure can be a risk for people moving about near the structure. The area should then be closed in the rare events of risk due to falling ice.	

ДОДАТОК А (ДОВІДКОВИЙ) – РІВНЯННЯ, ВИКОРИСТОВУВАНІ У ДАНОМУ СТАНДАРТІ

Примітка. В цьому Додатку наводяться всі рівняння до рис. і табл., за допомогою яких можна розрахувати всі значення, що не увійшли до таблиць.

А.1 Рівняння до рисунків

Рисунок 1:

y – швидкість вітру [м/с];

x – температура повітря [°C].

а) Розподіл між ожеледдю та твердою памороззю:

$$y = (-x + 1,75)^{1,55} \quad (A.1)$$

б) Розподіл між твердою і м'якою памороззю:

$$y = [(-x) \cdot 0,3 + 1,1]^{1,85} \quad (A.2)$$

Рисунок 2:

x – коефіцієнт висоти [1/1]; H – висота над поверхнею землі [м]

$$x = e^{0,01 \cdot H} \quad (A.3)$$

А.2 Рівняння до таблиць

Таблиця 3:

m – маса ожеледного відкладення на метр довжини [кг/м];

t – товщина стінки ожеледі [мм];

d – діаметр циліндра [мм];

ANNEX A (INFORMATIVE) – EQUATIONS USED IN THIS INTERNATIONAL STANDARD

NOTE This annex lists all used equations for figures and tables, so it is possible to calculate all values not shown in the tables.

A.1 Equations connected to figures

Figure 1:

y is the wind speed [m/s];

x is the air temperature [°C].

a) Separation between glaze and hard rime:

$$(A.1)$$

b) Separation between hard and soft rime:

$$(A.2)$$

Figure 2:

x is the height factor [1/1]; H is the height above terrain [m]

$$(A.3)$$

A.2 Equations connected to tables

Table 3:

m is the glaze mass [kg/m];

t is the glaze thickness [mm];

d is the cylinder diameter [mm];

r – густина льоду [кг/м³].

r is the glaze density [kg/m³].

Національне пояснення:

Відповідно до розділу 4 цього стандарту для густини льоду [кг/м³] встановлено позначку γ . Тому позначку r у даному пункті слід вважати зазначеною помилково.

$$m = \pi \cdot \gamma \cdot t(d+t) \times 10^{-6} \text{ [кг/м]} \text{ ([kg/m])} \quad (\text{A.4})$$

Таблиця 4:

D – діаметр паморозевого відкладення [мм]

Table 4:

D is the rime diameter [mm]

$$D = \left(\frac{m \cdot 4 \times 10^6}{\gamma \cdot \pi} + d^2 \right)^{\frac{1}{2}} \text{ [мм]} \text{ ([mm])} \quad (\text{A.5})$$

Таблиця 5:

Див. рисунок 4

Table 5:

See Figure 4.

$$\text{Для (For) } L \leq \frac{W}{2}: L = \frac{m \cdot 4 \times 10^6}{\pi \cdot \gamma \cdot W} \text{ [мм]} \text{ ([mm])} \quad (\text{A.6})$$

$$\text{Для (For) } L > \frac{W}{2}: L = \frac{W}{2} + 8 \cdot t \text{ [мм]} \text{ ([mm]), та} \quad (\text{A.7})$$

$$t = \frac{1}{32} \left\{ -10W + \left(68W^2 + \frac{m}{\gamma} \times 8,149 \times 10^7 \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \text{ [мм]} \text{ ([mm])} \quad (\text{A.8})$$

Таблиця 6:

Як таблиця 5, але:

Table 6:

As Table 5, but:

$$t = \frac{1}{32} \left\{ -9W + \left(49W^2 + \frac{m}{\gamma} \times 8,149 \times 10^7 \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \text{ [мм]} \text{ ([mm])} \quad (\text{A.9})$$

Таблиця 7:

Рівняння до таблиці 7 ґрунтуються на поперечному перерізі типу F, оскільки це дає найбільшу довжину для даної маси.

Table 7:

Equations for Table 7 have been based upon type F cross section, because this gives the biggest length for a given mass.

$$L = 0 \text{ [мм]} \text{ ([mm]) для (for) } m \leq \frac{W^2}{4} \cdot \gamma \times 10^{-6} \text{ [кг/м]} \text{ ([kg/m])} \quad (\text{A.10})$$

$$\text{Для (For) } L \leq \frac{W}{2}: L = \frac{m \cdot 4 \times 10^3}{\pi \cdot \gamma \cdot W} - \frac{W}{\pi} \text{ [мм]} \text{ ([mm])} \quad (\text{A.11})$$

$$\text{Для (For) } L > \frac{W}{2}: L = \frac{W}{2} + 8 \cdot t \text{ [мм]} \text{ ([mm]), та} \quad (\text{A.12})$$

$$t = 0,0398 \left\{ -7,07W + \left(17,68W^2 + \frac{m}{\gamma} \times 5,027 \times 10^7 \right)^{1/2} \right\} \text{ [мм]} \text{ ([mm])} \quad (\text{A.13})$$

Таблиця 8:

L – довжина крижаного наросту для об'єкта > 300 мм і типів С і D, таблиця 6.

m – маса ожеледного відкладення для льодового класу ICR;

m_w – маса ожеледного відкладення для $W > 300$ мм.

Table 8:

L is the ice vane length for object with > 300 mm and type C and D, Table 6.

m is the ice mass for ICRs;

m_w is the ice mass for $W > 300$ mm.

$$m_w = m + (W - 300) \cdot L \cdot \gamma \times 10^{-6} \text{ [кг/м]} \text{ ([kg/m])} \quad (\text{A.14})$$

L – виводиться з рівняння (A.6) і застосовується разом із належним значенням γ .

L must be found from equation (A.6) and used together with the correct value of γ .

Таблиця 9:

L – довжина крижаного наросту для об'єкта > 300 мм і типу А (таблиця 5).

m – маса ожеледного відкладення для льодового класу ICR

m_w – маса ожеледного відкладення для $W > 300$ мм

Table 9:

L is the ice vane length for an object width > 300 mm and type A (Table 5).

m is the ice mass for ICRs

m_w is the ice mass for $W > 300$ mm

$$m_w = m + (W - 300) \cdot L \cdot \gamma \times 10^{-6} \text{ [кг/м]} \text{ ([kg/m])} \quad (\text{A.15})$$

Таблиця 10:

X – значення льодового класу ICG,

Table 10:

X is the value of ICG, e.g. ICGX

наприклад, ICGX

$$C_i = C_0 - \left(\frac{C_0 - 1,4}{5} \right) \cdot X \quad [1/1] \quad (\text{A.16})$$

Таблиці 11–15:

$C_{0,3} = C_i$ із таблиці 10 для $W \leq 0,3$ м

$$C_i = C_{0,3} - \left(\frac{C_{0,3} - C_0}{4,7} \right) \cdot (W - 0,3) \quad [1/1] \quad (\text{A.17})$$

$C_{0,3}$ – значення для $W=0,3$, використовується для відповідного льодового класу ІС.

Таблиця 16:

X – значення льодового класу ICR, наприклад, ICRX

$$C_i = C_0 - \left(\frac{C_0 - 1,6}{9} \right) \cdot X \quad [1/1] \quad (\text{A.18})$$

Таблиці 17 – 25:

$C_{0,3} = C_i$ із таблиці 16 для $W \leq 0,3$ м

$$C_i = C_{0,3} - \left(\frac{C_{0,3} - C_0}{4,7} \right) \cdot (W - 0,3) \quad [1/1] \quad (\text{A.19})$$

$C_{0,3}$ – значення для $W=0,3$, використовується для відповідного льодового класу ІС.

Tables 11 to 15:

$C_{0,3} = C_i$ from Table 10 for $W \leq 0,3$ m

$$C_i = C_{0,3} - \left(\frac{C_{0,3} - C_0}{4,7} \right) \cdot (W - 0,3) \quad [1/1] \quad (\text{A.17})$$

$C_{0,3}$ is the value for $W=0,3$ m and shall be taken for the appropriate IC.

Table 16:

X is the value of ICR, e.g. ICRX

$$C_i = C_0 - \left(\frac{C_0 - 1,6}{9} \right) \cdot X \quad [1/1] \quad (\text{A.18})$$

Tables 17 to 25:

$C_{0,3} = C_i$ from Table 16 for $W \leq 0,3$ m

$$C_i = C_{0,3} - \left(\frac{C_{0,3} - C_0}{4,7} \right) \cdot (W - 0,3) \quad [1/1] \quad (\text{A.19})$$

$C_{0,3}$ is the value for $W=0,3$ m and shall be taken for the appropriate IC.

ДОДАТОК В (ДОВІДКОВИЙ) – СТАНДАРТНІ ВИМІРЮВАННЯ ДІЙ ОЖЕЛЕДІ

В.1 Вступ

Для проектних робіт потрібні характеристики кліматичних впливів.

У цьому стандарті розглядаються дії обледеніння, однак обледеніння на даний момент не входить до переліку метеорологічних даних і послуг, що надаються Національним метеорологічним інститутом (НМІ) або Всесвітньою метеорологічною організацією (ВМО).

Виходячи з цього, важливо узгодити спільну базу для збору інформації щодо обледеніння, яка могла б використовуватися при проектуванні для оцінки можливого ожеледного впливу.

У даному Додатку наводяться рекомендації, що уможливають розпочати збирання таких даних. При цьому методика збирання може коригуватися згідно з досвідом. Для збирання і оброблення необхідних даних, можливо, буде потрібна певна координація, що може здійснюватися у співпраці з НМІ та ВМО. До співпраці

ANNEX B (INFORMATIVE) – STANDARD MEASUREMENTS FOR ICE ACTIONS

B.1 Introduction

Engineering work needs specification of the climatic actions.

This International Standard deals with ice actions, but ice accretions are not today included in meteorological data and services provided by the National Meteorological Institute (NMI) or the World Meteorological Organization (WMO).

Because of this, it is important to agree on a common basis for the collection of information about ice accretions to be used for engineering estimation of ice actions.

This annex gives recommendations which makes it possible to start the collection of data. However, the procedure may be subject to adjustments, as experience tell us to do so. Some coordination of this and of work on the collected data might be necessary, and could be carried out in cooperation with NMI and WMO. Collaboration with other

слід залучати й інші зацікавлені сторони (наприклад, енергетиків).

Впровадження рекомендованої методики збирання даних може зіткнутися з певними практичними труднощами, але запропонований метод повинен бути реалізований якомога повніше.

Якщо це виявиться неможливим, необхідно розглянути можливість застосування інших методів збирання даних.

При застосуванні інших методів результати, отримані за їх допомогою, повинні бути адаптовані до методу, опис якого наводиться нижче.

B.2 Загальні положення

Обледеніння залежить не тільки від параметрів навколишнього середовища, але і від характеристик самого обледенілого об'єкта, наприклад:

- розміру (діаметра, ширини тощо);
- форми (плоска, з гострими краями, циліндрична, сферична тощо);
- гнучкості (жорсткий/гнучкий елемент при згинанні/крученні тощо);
- орієнтації щодо напрямку вітру (кут падіння);

interested parties (e.g. electrical utilities) should be encouraged.

There are practical difficulties in the implementation of the recommended collection of data, but the proposed method for doing so should be adopted as far as possible.

Because of these practical difficulties, other methods for collecting data are also of interest, if the proposed method cannot be carried out to a full extent.

If other collecting methods are used, the results from these should be calibrated to the method described below.

B.2 General considerations

Ice accretions are not only a function of environmental parameters, but are also dependent on the properties of the accreting object itself, for example:

- size (diameter, width, etc.);
- shape (flat, sharp edges, cylindrical, spherical, etc.);
- flexibility (rigid/flexible member in bending/torsion, etc.);
- orientation relative to wind direction (angel of incidence);

а також певною мірою від

- структури поверхні (пофарбована, сталева, бетонна тощо);
- матеріалу (дерево, сталь, пластик тощо).

Тому вимірювання параметрів обledenіння повинні проводитися з урахуванням наявного обладнання, процедур, розташування конструкцій на майданчику і т. і.

Згідно з проектом розташування конструкцій повинно бути передбачене таким, щоб воно в найменшій мірі сприяло можливому процесу обledenіння.

Що стосується вимірювальних пристроїв, то, принаймні, частина з них повинна виконувати контрольні функції, тобто проводити стандартні вимірювання обledenіння.

Інші пристрої можуть використовуватися для встановлення зв'язку між «стандартним обмерзанням» та найважливішими конструкційними параметрами, як зазначено вище (розмір, форма тощо). Вимірювання у такому розширеному обсязі повинні проводитися тільки на спеціальних майданчиках, а зібрані дані повинні оброблятися і

and to some extent

- surface structure (paint, steel, concrete, etc.);
- material (wood, steel, plastics, etc.).

Measurements of ice accretions therefore have to be specified with respect to devices, procedures, arrangements on site, etc.

The arrangements should be designed in a way that causes the lowest possible influence on the accretion process itself.

At least one part of measuring devices should always be the standard reference device, giving standard measurements of ice accretion.

Other parts of the arrangement may give the connections between “standard accretions” and the most important structural parameters as exemplified above (size, shape, etc.). These extended measurements should only be executed on special selected sites, and collected data should be worked up and used generally together with the standard measurements.

використовуватися разом із результатами стандартних вимірювань.

Для досліджень можна використовувати стовпи (башти), якщо вони відповідають цілям і потребам вивчення. За необхідності, можна змонтувати також інші елементи, які будуть піддаватися обледенінню, як наприклад, канати малого діаметра (< 30 мм), профілі, несучі поверхні тощо.

Періодичність спостережень може бути адаптована до місцевих умов.

На майданчиках, де передбачається танення або падіння льоду через короткий проміжок часу після обмерзання, спостереження повинні проводитися до того, як це станеться (через кілька годин або днів після обледеніння).

У стабільно холодних місцевостях (високогір'я тощо) такі спостереження можуть проводитися раз на тиждень або на місяць.

За один сезон (зиму) необхідно зареєструвати принаймні одне максимальне значення.

Якщо проводиться автоматична реєстрація результатів, важливими є

The poles (towers) could be used for such investigations when found appropriate or necessary, for instance installation of other ice-collecting parts, such as ropes of smaller diameter (than 30 mm), profile, planes, etc.

Frequency of observations may be adjusted to the local conditions.

On sites where melting or shedding are likely to occur shortly after the accretion period, observations should be carried out before this happens (within hours or a few days after icing).

In stable, cold areas (high mountains, etc.) weekly or even monthly observations may be sufficient.

At least the maximum value for one season (winter) should be recorded.

It is important, when automatic recordings are performed, also to do

також візуальні спостереження під час та/або після обмерзання, оскільки саме такі дослідження можуть надати максимум інформації про комплексні навантаження.

Якщо оснастити дослідний майданчик системою дистанційної реєстрації даних, то, отримавши інформацію про обмерзання безпосередньо, можна своєчасно відвідати майданчик.

В.3 Рекомендовані вимірювання

В.3.1 Стандартні контрольні вимірювання

Загальна конструкція стандартного вимірювального пристрою виглядає наступним чином:

а) Циліндр діаметром 30 мм встановлюється у вертикальне положення і повільно повертається навколо осі. Мінімальна довжина циліндра повинна становити 0,5 м, а якщо очікується сильне обледеніння, довжина повинна дорівнювати 1 м.

б) Циліндр встановлюється на висоті приблизно 10 м над рівнем поверхні землі¹⁾.

¹⁾ У зимовий період необхідно враховувати максимальну глибину снігу. Циліндр краще встановлювати на ділянці, очищеній від снігу. З практичної точки зору, допускається встановлення його на різній висоті над поверхнею землі за умови, що результати відповідатимуть отриманим на висоті 10 метрів.

manual observations during and/or after the accretion period, because only these types of observation can give maximum information on such complex load situations.

Also recordings with remote readings make it possible to get immediate information about an icing situation and the site may be visited in due time.

В.3 Recommended measurements

В.3.1 Standard reference measurements

The overall design of the standard measurement device should be in principle as follows.

a) A cylinder with a diameter of 30 mm is placed with the axis vertical and slowly rotating around the axis. The cylinder length should be a minimum of 0,5 m, but if heavy ice accretion is expected, length should be 1 m.

b) The cylinder is placed 10 m above terrain¹⁾.

¹⁾ Consideration should be given to the maximum snow depth during the winter. The cylinder should preferably be placed in an area where snow is blown away. For practical reasons, different erection heights above terrain are accepted, as long as the results correspond to those for 10-m height.

с) Як мінімум, проводиться реєстрація маси ожеледних відкладень.

В.3.2 Інші спостереження

Якщо є практична можливість, спостереження повинні включати також наступне:

а) Загальні габарити крижаного наросту, тобто діаметр або максимальні і мінімальні розміри поперечного перерізу. Розміри ожеледних відкладень можуть змінюватися вздовж осі циліндра, і це необхідно реєструвати.

б) Ескізи форм поперечних перерізів і результати зазначених вище вимірювань.

с) Тип обледеніння (див. табл. 2 і 2.3).

Національне пояснення:

У даному стандарті типи обледеніння зазначено в табл. 1 і 2. Тому наведене тут посилання на табл. 2.3 слід вважати помилковим.

д) Напрямок вітру під час обледеніння.

е) Забір проб льоду для визначення густини.

ф) Фотографії (загальний вигляд і зйомка крупним планом).

с) Recordings of ice mass are done as a minimum.

В.3.2 Other observations

When practical, observations should also include the following.

а) Overall dimensions of accreted ice; i.e. diameter or max. and min. measurements of cross section. There might be variations along the length of the cylinder, which also should be registered.

б) Sketches with shape or cross section combined with the above-mentioned measurements.

с) Type of ice (see Table 2 and 2.3).

д) Wind direction during the accretion period.

е) Collection of ice samples for determination of density.

ф) Photographs (overall views and close-ups).

В.3.3 Виведення результатів вимірювань

Серії вимірювань мають бути досить тривалими з метою формування достовірної бази даних для аналізу екстремальних значень. Залежно від умов, тривалість періоду проведення вимірювань може становити від кількох років до кількох декад.

При цьому суттєво допоможуть і більш короткі серії вимірювань, які можуть статично або фізично (краще) співвідноситися з метеорологічними даними більш тривалих вимірювань у поєднанні з теоретичними моделями.

Результати вимірювань у відповідності до визначених у 3.1 і 3.2 повинні бути виражені наступним чином:

- a) Льодовий клас (IC) слід зазначати відповідно до таблиці 4 або 5.
- b) Середній розмір (діаметр) крижаного наросту, виміряного у вертикальній проекції: діаметр L або D (м).
- c) Середня густина льоду: γ (кг/м³). (Необхідно домовитися про методи вимірювань).

Якщо додатково до циліндра, що

В.3.3 Output of measurements

The length of the measurement series should be sufficiently long to form a reliable basis for extreme value analysis. This length could be from a few years to several decades depending on the conditions.

However, shorter series can be of valuable help and can also be connected to longer records of meteorological data, either statistically or (better) physically in combination with theoretical models.

The result of measurements in accordance with definitions 3.1 and 3.2 should be expressed as follows.

- a) The ice class (IC) should be stated in accordance with Table 4 or 5.
- b) The average dimension (diameter) of ice measured on a vertical projection: diameter or L or D (m).
- c) The average density of ice: γ (kg/m³). (Measuring method should be discussed.)

If, in addition to the rotating

обертається, виконуються інші вимірювання, такі як вимірювання вітру з докладною реєстрацією навантаження [реакції у всіх напрямках, вертикальному та поперечному (горизонтальному)], то можливо, що коефіцієнт опору C_D можна буде визначити за допомогою відповідних розрахунків.

Це – корисна інформація, оскільки запропоновані значення коефіцієнта C_D характеризуються певною неточністю і, можливо, потребують відповідного коригування (зокрема, це стосується результатів польових вимірювань).

Тому рекомендується продовжити вимірювання, щоб отримати додаткову необхідну інформацію.

В.3.4 Додаткові метеорологічні вимірювання

У місцевостях, де метеорологічні спостереження не проводяться або проводяться в обмежених обсягах, стандартні контрольні вимірювання повинні доповнюватися метеорологічними даними.

Як мінімум, необхідно документувати показання температури

cylinder, other measurements have been done such as wind measurements and detailed load recordings [reactions in all directions, vertical and transverse (horizontal)], it might be possible to estimate the drag coefficient, C_D by calculations.

This is very useful, because the proposed values of C_D are rather uncertain and might need adjustments, especially from field measurements.

Therefore it is recommended that further measurements are performed in such a way that the above-mentioned additional information can be found.

В.3.4 Additional meteorological measurements

In areas with only a few or no meteorological observations, some meteorological recordings are recommended in connection with the standard reference measurements.

Temperature and humidity should be recorded as minimum, but also wind

і вологості, а також швидкості і напрямку вітру (стануть у нагоді під час розрахунку впливів).

Спеціальної уваги заслуговує питання забезпечення якості даних. Обледеніння вимірювальних приладів і/або їх захисних екранів може призвести до спотворення результатів вимірювань і до пошкодження датчиків.

В.4 Вимірювання на інших об'єктах

У цьому стандарті зони, що піддаються обледенінню, класифікуються за певними «льодовими класами». Що вище номер класу, то сильнішим очікується обледеніння.

Згідно з табл. 4 і 5 льодовий клас певного майданчика або ділянки можна визначити за результатами стандартних контрольних вимірювань.

В інших таблицях значення обледеніння, виведені згідно зі стандартними контрольними вимірюваннями, переведено в значення обледеніння для інших об'єктів такого ж льодового класу. Такий перерахунок здійснюється, в основному, на підставі наявного досвіду, що свідчить про корисність

прДСТУ Б ISO 12494:201X

speed and direction are very useful information, especially regarding calculation of actions.

However, special arrangements must be made to ensure the quality of data. Ice accretions on instruments and/or instrument shields can lead to both misreading of parameters as well as destruction of sensors.

B.4 Measurements on other objects

In this International Standard, areas exposed for ice accretion are defined as having a certain “ice class”. The higher the number, the more accreted ice must be expected.

In accordance with Tables 4 and 5, the specific ice class of a certain site or area can be found by using results from the standard reference measurements.

In other tables accreted ice from standard reference measurements are converted into accreted ice on other objects for the same ice class. This conversion should be done mainly by means of experience, which means that recordings of accreted ice on other objects, placed together with the standard ice collector (Ø 30 mm cylinder), are

записів значень обледеніння на інших об'єктах, розташованих поблизу контрольного колектора льоду (циліндр Ø 30 мм).

Необхідно також провести спостереження за обледенінням на існуючих об'єктах. До таких об'єктів можна віднести конструкції антен, повітряних ліній електропередач, фунікулерів тощо.

Однак, щоб отримати максимум даних від таких спостережень, отриману інформацію мають обробити метеорологи, які проводять контрольні вимірювання.

В.5 Відповідальність

Вимірювання атмосферного обледеніння не входять до діючої стандартної програми метеорологічних спостережень, тому зацікавлені сторони (наприклад, власники енергетичних і телекомунікаційних компаній) повинні взяти на себе відповідальність за організацію відповідних програм збору необхідних даних.

Зокрема, систематичні спостереження за обледенінням можуть проводитися під час періодичних оглядів і технічного

very useful.

Also observations of accreted ice on already existing objects in icing regions should be done. Such objects could typically be antenna structures, structures for overhead transmission lines, skilifts, etc.

However, to get maximum values of such observations, the same meteorologists who operate the standard reference measurements should work up all data.

B.5 Responsibility

Measurements of atmospheric ice are not included in the existing meteorological standard observation programmes, so the involved owners (e.g. electric power utilities and telecommunication companies, etc.), should themselves take the responsibility of performing the necessary data recording programmes.

In particular, systematic observations of ice should be performed in connection with regular inspection and maintenance of existing structures.

обслуговування конструкцій, що перебувають в експлуатації.

При цьому національні метеорологічні інститути наполегливо запрошуються розділити спільну відповідальність за збирання та аналізування даних. Метеорологічні інститути повинні своєчасно надавати своїм клієнтам/замовникам усі зареєстровані дані в якості базового матеріалу. Необхідно зазначити, що національні метеорологічні інститути зазвичай відповідають за підготовку всієї необхідної кліматичної інформації, використовуваної для розроблення національних норм і стандартів, що належать до сфери відповідальності національних спілок інженерів.

However, the National Meteorological Institutions should be strongly encouraged to take over themselves the overall responsibility for collecting and analysing these data. In due time, the Meteorological Institutions should be able to present all recorded data as background material for their clients/customers. The NMI is usually responsible for drawing up the necessary climatic information used for the national codes and standards, which typically are worked out by a national society of engineers.

ДОДАТОК С (ДОВІДКОВИЙ) – ТЕОРЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБЛЕДЕНІННЯ

С.1 Основи

Джерелом природного льоду, що утворюється на конструкціях, можуть бути хмарні краплі, дощові краплі, сніг або водяна пара.

У межах даної класифікації термін «хмарні краплі» включає краплини в хмарах (див. джерело [15] у Бібліографії), зазначаючи, що конденсація водяної пари (іній) зазвичай є незначною порівняно з типовим обледенінням, яке відбувається в результаті зіткнення крапель рідкої води і частинок снігу.

Таким чином, істотні льодові навантаження утворюються за рахунок зіштовхування частинок у повітрі з об'єктом. Ці частинки можуть бути рідкими (зазвичай переохолодженими), твердими чи у вигляді суміші води і снігу. У будь-якому випадку інтенсивність обледеніння на одиницю площі об'єкта залежить від щільності потоку даних частинок. Щільність потоку F – це результат масового накопичення частинок w і швидкості v

ANNEX C (INFORMATIVE) – THEORETICAL MODELLING OF ICING

C.1 Fundamentals

The source of natural ice that forms on structures may be either cloud droplets, rain drops, snow or water vapour.

In this classification the term «cloud droplets» includes droplets in clouds that are locally observed as can be shown (see reference [15] in Bibliography) that condensation of water vapour (hoarfrost) is usually negligible compared to typical growth rates of ice due to impingement of liquid water droplets and snow particles.

Thus significant ice loads form due to particles in the air colliding with the object. These particles can be liquid (usually super-cooled), solid or a mixture of water and ice. In any case, the maximum rate of icing per unit projection area of the object is determined by the flux density of these particles. The flux density, F , is a product of the mass concentration of the particles, w , and the velocity, v , of the particles with respect to the object.

частинок відносно об'єкта.

Відповідно, інтенсивність обледеніння виводиться з рівняння:

$$\frac{d_m}{d_t} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \cdot w \cdot A \cdot v$$

де

A – площа поперечного перерізу об'єкта (з урахуванням напрямку вектора швидкості частинки v);

η_1 – ефективність зіткнення;

η_2 – ефективність прилипання;

η_3 – ефективність відкладення.

Поправкові коефіцієнти η_1 , η_2 і η_3 представляють різні процеси, що можуть зменшити d_m/d_t в рамках його максимального значення $w A v$. Ці поправкові коефіцієнти можуть варіюватися від 0 до 1.

Коефіцієнт η представляє ефективність зіткнення частинок, тобто відношення щільності потоку частинок, що зіштовхуються з об'єктом, до максимальної щільності потоку. Значення ефективності зіткнення η_1 приведено з одиниці, оскільки невеликі частинки прагнуть слідувати за повітряними потоками і можуть відхилитися від своєї траєкторії в напрямку до об'єкта, як показано на рис. С.1.

Consequently, the rate of icing is obtained from the equation.

$$(C.1)$$

where

A is the cross-sectional area of the object (with respect to the direction of the particle velocity vector v);

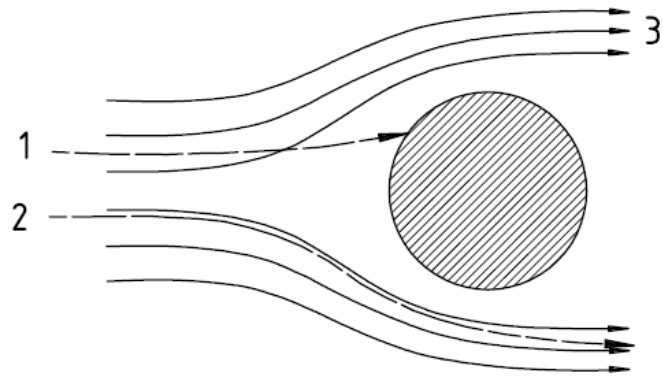
η_1 is the collision efficiency;

η_2 is the sticking efficiency;

η_3 is the accretion efficiency.

The correction factors η_1 , η_2 and η_3 , represent different processes that may reduce d_m/d_t from its maximum value $w A v$. These correction factors vary between 0 and 1.

Factor η represents the efficiency of a collision of the particles, i.e. is the ratio of the flux density of the particles that hit the object to the maximum flux density. The collision efficiency η_1 is reduced from one, because small particles tend to follow the air streamlines and may be deflected from their path towards the object, as shown in Figure C.1.



Познаки:
 1 - великі краплі;
 2 - малі краплі;
 3 – повітря

Key
 1 Large droplet
 2 Small droplet
 3 Air

Рисунок С.1 – Траєкторії крапель у повітряному потоці навколо циліндричного об'єкта

Figure C.1 – Air streamlines droplet trajectories around a cylindrical object

Коефіцієнт η_2 представляє ефективність концентрації часток, які стикаються з об'єктом, тобто η_2 – це відношення щільності потоку частинок, які прилипають до об'єкта, до щільності частинок, які стикаються з об'єктом. Значення ефективності прилипання η_2 приведені з одиниці, коли частинки відскакують від поверхні. Частинки вважаються прилиплими, коли вони накопичуються безперервно або знаходяться на поверхні достатньо часу для того, щоб впливати на інтенсивність обледеніння, наприклад, за рахунок теплообміну з поверхнею.

Factor η_2 represents the efficiency of collection of those particles that hit the object, i.e. η_2 is the ratio of the flux density of the particles that stick to the object to the flux density of the particles that hit the object. The sticking efficiency η_2 is reduced from one when the particles bounce from the surface. The particles are considered to stick when they are permanently collected, or their residence time on the surface is sufficient to affect the icing rate due for example to exchange of heat with the surface.

Коефіцієнт η_3 представляє ефективність відкладення, тобто η_3 – це відношення швидкості обмерзання до щільності потоку частинок, які прилипають до поверхні. Інтенсивність відкладення η_3 приводиться з одиниці, коли тепловий потік від ожеледних відкладень незначний і не може викликати заморожування всіх прилиплих частинок та їх сполучення із крижаним наростом. У такому випадку частина масового потоку частинок втрачається з поверхні води. Схематично така ситуація зображена на рис. С.3.

У ситуації, показаній на рис. С.3 ($\eta_3 < 1$), на поверхні ожеледного відкладення знаходиться рідкий шар, а замерзання відбувається під ним. Це явище називається «вологий приріст», а утворений при цьому лід називається «ожеледь». Якщо рідкий шар відсутній і немає змивання частинок з поверхні ($\eta_3=1$), такий процес називається «сухий приріст».

Схематично ця ситуація представлена на рис. С.2. Утворений при цьому лід називається «паморозь». Слід зазначити також, що іноді в літературі використовується такий

Factor η_3 represents the efficiency of accretion, i.e. η_3 is the ratio of the rate of icing to the flux density of the particles that stick to a surface. The accretion efficiency η_3 from one when the heat flux from the accretions too small to cause sufficient freezing to incorporate all sticking particles into the accretion. In such a case part of the mass flux of the particles is lost from the surface water by run-off. The situation is schematically shown in Figure C.3.

When the situation in Figure C.3 develops ($\eta_3 < 1$) there is a liquid layer on the surface of the accretion and freezing takes place beneath this layer. This is called “wet growth”. The ice resulting from this process is customarily called «glaze». When there is no liquid layer and no run-off ($\eta_3 = 1$) the process is called “dry growth”.

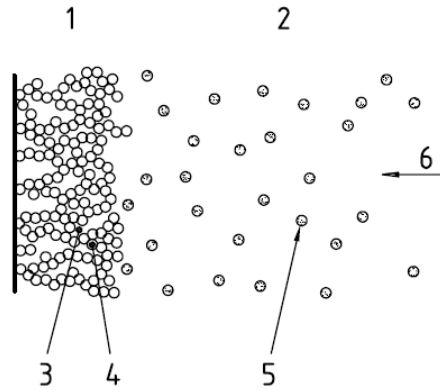
This situation is schematically shown in Figure C.2. The ice resulting from dry growth is called «rime». Finally, it should be noted that the term «collection efficiency» for η_1 and the

термін, як «ефективність накопичення» для η_1 і термін «застигаюча фракція» для η_3 .

Незважаючи на застосування таких термінів, як «обледеніння» і «інтенсивність обледеніння» d_m/d_t , ожеледне відкладення може являти собою суміш льоду та рідкої води. Це пояснюється наступним чином: коли на поверхні ожеледного відкладення утворюється рідка плівка (рис. С.3), лід, що наростає, завжди охоплює спочатку значну кількість рідкої води [18]. Налипання мокрого снігу також спричиняє відкладення, що містять рідку воду. При цьому рідка вода проявляє себе вкрай рідко, тому що відкладення зазвичай повністю замерзають відразу після припинення опадів.

term «freezing fraction» for η_3 are sometimes used in the literature.

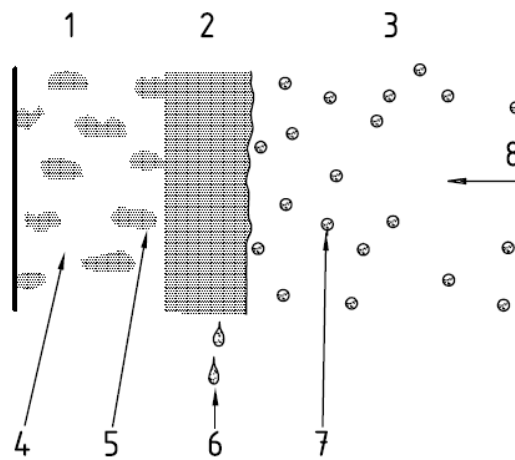
One should note that, although we speak of «icing» and «icing rate» d_m/d_t , the accretion that forms may be a mixture of ice and liquid water. In fact, when a liquid film forms at the accretion surface (Figure C.3), the growing ice always initially entraps a considerable amount of liquid water [18]. Accretion of wet snow also results in a deposit that includes liquid water. Liquid water is seldom detected, because the deposits usually completely freeze soon after the icing storm is over.



Позначки:
 1 – паморозь
 2 – холодне повітря
 3 – повітря
 4 – лід
 5 – краплі
 6 – напрямок вітру

Key
 1 Rime
 2 Cold air
 3 Air
 4 Ice
 5 Droplets
 6 Wind direction

Рисунок С.2 – Обмерзання памороззю («сухий приріст»)
Figure C.2 – Growth of rime ice («dry growth»)



Позначки:
 1 – лід
 2 – водяна плівка
 3 – холодне повітря
 4 – лід
 5 – рідка вода
 6 – вода, що стікає з поверхні
 7 – краплі
 8 – напрямок вітру

Key
 1 Ice
 2 Water film
 3 Cold air
 4 Ice
 5 Liquid water
 6 Runoff water
 7 Droplets
 8 Wind direction

Рисунок С.3 – Обмерзання ожеледдю («вологий приріст»)
Figure C.3 – Growth of glaze ice («wet growth»)

C.2 Інтенсивність обледеніння

C.2.1 Загальні положення

Рівняння (C.1) виявляє деякі базові проблеми оцінки ожеледних навантажень на конструкції. Спочатку необхідно визначити три коефіцієнти η_1 , η_2 і η_3 , які можуть варіюватися від 0 до 1. Крім цього, потрібно знати масову концентрацію частинок у повітрі w , швидкість частинок v і площу поперечного перерізу об'єкта A . Визначення атмосферних параметрів є проблемою здебільшого практичною, а не теоретичною, і тому ми не будемо розглядати її в цьому додатку.

Можна лише зазначити, що масова концентрація w – це не звичайний вимірюваний параметр, і його оцінка пов'язана з певними проблемами. Швидкість v – це сума векторів швидкості вітру і кінцевої швидкості частинок (яка часто невідома).

В наступних підрозділах розглядатимуться теоретичні засоби визначення коефіцієнтів η_1 , η_2 , η_3 та A .

C.2.2 Ефективність зіткнення

Коли крапля переміщається з повітряним потоком у напрямку об'єкта, що зазнає обледеніння, її

C.2 Rate of icing

C.2.1 General

Equation (C.1) reveals some of the basic problems of estimating ice loads on structures. Three factors, η_1 , η_2 and η_3 that all may vary between 0 and 1, must be determined. In addition, the mass concentration of particles in air, w , the particle velocity, v , and the cross-sectional area of the object, A , must be known. Determination of the atmospheric parameters is more a practical problem than a theoretical one, and we will not discuss it in this annex.

It may be noted here, however, that the mass concentration w is not a routinely measured parameter and its estimation is a difficult problem of its own, and that the velocity v is a vector sum of the wind speed and the, often unknown, terminal velocity of the particles.

In the following, theoretical means to determine the factors η_1 , η_2 , η_3 and A are discussed.

C.2.2 Collision efficiency

When a droplet moves within the air stream toward the icing object, the forces of aerodynamic drag and inertia

траєкторію визначають сили аеродинамічного опору та інерція. Якщо інерційні сили невеликі, тоді домінуватиме опір, і краплі будуть просто переміщуватися в потоці повітря (рис. С.1). Оскільки потоки повітря огинатимуть об'єкт, разом із ними будуть огинати об'єкт і краплі. Тому фактична інтенсивність зіткнення буде меншою, ніж щільність потоку. Що стосується великих крапель, то для них, з іншого боку, буде домінувати сила інерції, і краплі будуть прагнути до зіткнення з об'єктом, не відхиляючись від нього (рис. С.1).

Відносна величина інерції та опору, що впливають на краплі, залежить від їх розмірів, швидкості повітряного потоку і розмірів обледенілого об'єкта. Якщо ці параметри відомі, ефективність зіткнення η_1 може бути виведена теоретично за допомогою числового метода розв'язування рівнянь стосовно переміщення крапель у повітряному потоці. Даний підхід був розроблений в 1946 році [9] і включає числове рішення повітряного потоку і траєкторій крапель. Траєкторії повинні

determine its trajectory. If inertial forces are small, then drag will dominate and the droplets will closely follow the streamlines of air (Figure C.1). Since air must go around the object, the droplets will in this case also tend to do so. The actual impingement rate will then be smaller than the flux density of the spray. For large droplets, on the other hand, inertia will dominate and the droplets will tend to hit the object, without being deflected (Figure C.1).

The relative magnitude of the inertia and drag on the droplets depends on the droplet size, the velocity of the air stream and the dimensions of the icing object. When these are known, the collision efficiency, η_1 can be theoretically determined by numerically solving the equations of droplet motion in the airflow. This approach, pioneered in 1946 [9], involves numerical solution of the airflow and of the droplet trajectories. The trajectories must be determined for a number of particle sizes and impact positions in order to finally derive the

визначатися для кількох розмірів частинок і положень зіткнення з метою виведення значення ефективності зіткнення η_1 . Такі розрахунки є складними і вимагають багато витрат. На щастя, існують можливості спростити розрахунок η_1 для практичного застосування.

По-перше, якщо припускається, що об'єкт, який зазнає обледеніння, має циліндричну форму, то існує аналітичний розв'язок для повітряного потоку навколо об'єкта, й ефективність зіткнення може бути параметризована за допомогою двох безрозмірних параметрів:

$$K = \rho_w d^2 / 9\mu D \text{ та (and)} \quad (\text{C.2})$$

$$\phi = Re^2 / K \quad (\text{C.3})$$

з числом Рейнольдса крапель на основі довільної швидкості потоку v :

$$Re = \rho_a dv / \mu \quad (\text{C.4})$$

де

d – діаметр краплі;

D – діаметр циліндра;

ρ_w – щільність води;

μ – абсолютна в'язкість повітря;

ρ_a – густина повітря.

Розроблено наступний емпіричний метод підгонки для даних

overall collision efficiency η_1 . These calculations are complicated and computationally costly. Fortunately, there are several means to simplify the calculation of η_1 for practical applications.

Firstly, if it is assumed that the icing object is cylindrical, there exists an analytical solution for the airflow around the object, and the collision efficiency can be parameterized by two-dimensionless parameters:

with the droplet Reynolds number based on the free stream velocity v :

where

d is the droplet diameter;

D is the cylinder diameter;

ρ_w is the water density;

μ is the absolute viscosity of air;

ρ_a is the air density.

The following empirical fit to the numerically calculated data has been

числового розрахунку [5]:

developed [5]:

$$\eta_1 = A - 0,028 - C(B - 0,0454) \quad (C.5)$$

де

where

$$A = 1,066K^{-0,00616} \exp(-1,103K^{-0,688})$$

$$B = 3,641K^{-0,498} \exp(-1,497K^{-0,694})$$

$$C = 0,00637(\phi - 100)^{0,381}$$

По-друге, показано [6], що висока точність, одиночний параметр і середній об'ємний розмір краплі (MVD) можуть використовуватися в розрахунках [як d в рівняннях (C.2) і (C.4)] без необхідності розрахунку η_1 окремо для кожної категорії розміру краплі.

Secondly, it has been shown [6] that with a good accuracy, a single parameter, the median volume diameter (MVD) can be used in the calculations [as d in equations (C.2) and (C.4)] without having to calculate η_1 separately for each droplet size category.

Ефективність зіткнення η_1 значною мірою залежить від розміру частинки, і для досить великого серединного діаметра обсягу можна практично використовувати $\eta_1 = 1$, якщо конструкція не є надзвичайно великою. Тому розрахунок η_1 повинен проводитися тільки, коли хмарні краплі спричиняють обледеніння. При випадінні атмосферних опадів (дощ, сніг) ефективність зіткнення виявляється близькою до одиниці.

The collision efficiency η_1 depends strongly on the particle size, and for sufficiently large MVD one can put $\eta_1 = 1$ in practical applications, unless the structure is extremely large. Therefore, η_1 usually needs to be calculated only when cloud droplets cause icing. In precipitation (both rain and snow) the collision efficiency is close to one.

C.2.3 Ефективність прилипання

C.2.3 Sticking efficiency

Коли переохолоджена крапля води стикається з поверхнею льоду,

When a super-cooled water drop hits an ice surface it rapidly freezes and

вона швидко замерзає і не встигає відскочити від поверхні (рис. С.2). Якщо на поверхні є рідкий шар, крапля розтікається по поверхні і знову-таки не відбивається від неї (рис. С.3). В ході цих процесів можливе утворення крапель, що в результаті дроблення стікають із поверхні. Проте їх відносний об'єм, у більшості випадків, настільки малий, що їх вплив на обмерзання практично не значний. Відповідно, прийнято вважати, що краплі рідкої води, як правило, не відштовхуються від поверхні, тобто для водяних крапель $\eta_2 \approx 1$.

Що стосується частинок снігу, то вони відскакують досить ефективно. Для повністю твердих частинок (сухий сніг) ефективність прилипання η_2 практично дорівнює 0, однак якщо на поверхні частинок снігу знаходиться рідкий шар, вони прилипають набагато ефективніше. При невеликій швидкості зіткнення і за сприятливих умов температури і вологості значення η_2 є близьким до значень мокрого снігу.

У даний час не існує теорії щодо ефективності налипання мокрого

does not bounce (Figure C.2). If there is a liquid layer on the surface the droplet spreads on the surface and again there is no bouncing (Figure C.3). Small droplets that leave the surface can be created in these processes due to splintering. Their relative volume is, however, mostly so small that their effect on icing is insignificant. Therefore, liquid water droplets can generally be considered not to bounce, i.e. for water droplets $\eta_2 \approx 1$.

Snow particles, however, bounce very effectively. For completely solid particles (dry snow) the sticking efficiency, η_2 , is basically 0, but when there is a liquid layer on the surface of the snow particles, they stick more effectively. At small impact speeds and favourable temperature and humidity conditions, η_2 is close to the unity for wet snow.

Presently there is no theory for the sticking efficiency of wet snow. The

снігу. Наявні методи апроксимації η_2 є емпіричними рівняннями на основі лабораторного моделювання та деяких польових спостережень. Першою найкращою апроксимацією для η_2 є, можливо, [1]:

$$\eta_2 = 1/v,$$

де швидкість вітру v виражається в метрах за секунду; коли $v < 1 \text{ мс}^{-1}$, $\eta_2 = 1$.

Вологість і температура повітря також впливають на η_2 , але на даний момент немає достатньо даних, щоб прийняти їх до уваги.

При цьому, однак, слід зазначити, що $\eta_2 > 0$ тільки в тому випадку, якщо поверхня частинок снігу є мокрою, так що для снігу $\eta_2 = 0$, коли температура за мокрим термометром становить нижче $0 \text{ }^\circ\text{C}$ [20].

C.2.4 Інтенсивність відкладення

При формуванні сухого приросту під час обледеніння всі краплі води, що стикаються з поверхнею, замерзають і ефективність відкладення $\eta_3=1$ (рис. C.2). В умовах формування вологого приросту під час обледеніння швидкість замерзання залежить від швидкості, з якою

available approximation methods of η_2 are empirical equations based on laboratory simulations and some field observations. The best first approximation for η_2 is probably [1]:

$$(C.6)$$

where the wind speed v is in metres per second; when $v < 1 \text{ ms}^{-1}$, $\eta_2 = 1$.

Air temperature and humidity also affect η_2 but here are presently not enough data to take them into account.

However, it should be noted that $\eta_2 > 0$ only when the snow particle surface is wet, so that for snow, $\eta_2 = 0$ when the wet-bulb temperature is below $0 \text{ }^\circ\text{C}$ [20].

C.2.4 Accretion efficiency

In dry growth icing, all impinging water droplets freeze and the accretion efficiency, $\eta_3=1$ (Figure C.2). In wet growth icing, the freezing rate is controlled by the rate at which the latent heat released in the freezing process can be transferred away from the freezing surface. The portion of the impinging

латентна теплота в процесі замерзання може відводитися від поверхні, що обмерзає. При цьому частина води, яка не може замерзнути при обмеженому теплообміні, стікає під дією сили тяжіння або опору повітря (рис. С.3).

Для вологого приросту ожеледі тепловий баланс на поверхні обмерзання можна представити як:

$$Q_f + Q_v = Q_c + Q_e + Q_l + Q_s$$

де

Q_f – латентна теплота, що вивільняється під час замерзання;

Q_v – аеродинамічне нагрівання повітря;

Q_c – витоки фізичного тепла в повітря;

Q_e – витоки тепла під впливом випаровування;

Q_l – відтік (приплив) тепла при нагріванні (охолодженні) води, що стикається з поверхнею, до температури замерзання;

Q_s – втрати теплоти на випромінювання.

Члени рівняння теплового балансу (С.7) можуть бути параметризовані за допомогою метеорологічних і структурних змінних.

Тепло, звільнене при замерзанні,

water that cannot be frozen by the limited heat transfer, runs off the surface due to gravity or wind drag (Figure C.3).

The heat balance on the icing surface can, for wet growth icing, be written as:

$$(C.7)$$

where

Q_f is the latent heat released during freezing;

Q_v is the frictional heating of air;

Q_c is the loss of sensible heat to air;

Q_e is the heat loss due to evaporation;

Q_l is the heat loss (gain) in warming (cooling) impinging water to the freezing temperature;

Q_s is the heat loss due to radiation.

The terms of the heat balance equation (C.7) can be parameterized using the meteorological and structural variables.

The heat released in freezing is

передається з розмежувальної поверхні «лід-вода» через рідку воду в повітря; відповідно, через рідку плівку утворюється від'ємний градієнт температури. Такий тип переохолодження сприяє морфології дендритної кристалізації, в результаті чого певна частина води залишається всередині крижаної матриці. Оскільки незамерзла вода може виявитися захопленою без виділення будь-якого латентного тепла, член Q_f у рівнянні (C.3) дорівнює:

$$Q_f = (1 - \lambda)\eta_3 FL_f \quad (C.8)$$

де

λ – рідка фракція відкладення;

F – щільність потоку води до поверхні ($F = \eta_1 \eta_2 w v$).

Для визначення рідкої фракції λ робилися і теоретичні [18], і експериментальні [7] спроби. У даних дослідженнях передбачається, що λ залишається, швидше за все, нейтральним до умов наростання льоду і що $\lambda=0,26$ – це перша прийнятна апроксимація.

Кінетичне нагрівання повітря Q_w є відносно невеликою величиною, але оскільки вона легко параметризується

transferred from the ice-water interface through the liquid water into the air, and consequently there is a negative temperature gradient through the liquid film. This kind of super-cooling results in dendritic growth morphology, and consequently some liquid water is trapped within the spray ice matrix. Since the unfrozen water can be entrapped without releasing any latent heat, the term Q_f in equation (C.3) is

where

λ is the liquid fraction of the accretion;

F is the flux density of water to surface ($F = \eta_1 \eta_2 w v$).

Attempts to determine the liquid fraction, λ , have been made both theoretically [18] and experimentally [7]. These studies suggest that λ is rather insensitive to the growth conditions, and that the value of $\lambda=0,26$ is a reasonable first approximation.

The kinetic heating of air, Q_w , is relatively small term, but since it is easily parameterized by

за допомогою:

$$Q_w = hrv^2 / (2C_p) \quad (C.9)$$

то вона включається, як правило, до теплового балансу. Кінетичне нагрівання крапель видається несуттєвим і до уваги не приймається. В даному випадку h – це коефіцієнт конвективного теплообміну, r – коефіцієнт відновлення для теплоти внутрішнього тертя ($r=0,79$ для циліндра), v – швидкість вітру, а C_p – питома теплоємність повітря.

Конвективний теплообмін можна представити як:

$$Q_c = h(t_s - t_a) \quad (C.10)$$

де t_s – це температура поверхні обледеніння ($t_s=0$ °C при вологому прирості), а t_a – це температура повітря.

Випарна теплопередача параметризується як:

$$Q_e = h\varepsilon L_e(e_s - e_a) / (C_p p) \quad (C.11)$$

де ε – коефіцієнт молекулярної маси сухого повітря і водяної пари ($\varepsilon=0,622$);

L_e – латентне тепло випаровування;

e_s – тиск насиченої водяної пари на поверхні відкладення;

it is usually included in the heat balance. Kinetic heating of the droplets is insignificant and is ignored. Here h is the convective heat transfer coefficient, r is the recovery factor for viscous heating ($r=0,79$ for a cylinder), v is the wind speed and C_p is the specific heat of air.

The convective heat transfer is

where t_s is the temperature of the icing surface ($t_s=0$ °C in wet growth) and t_a is the air temperature.

The evaporative heat transfer is parameterized as

where

ε is the ratio of the molecular masses of dry air and water vapour ($\varepsilon=0,622$);

L_e is the latent heat of vaporization;

e_s is the saturation water vapour pressure over the accretion surface;

e_a – тиск навколишньої пари в повітряному потоці;

p – тиск повітря.

В даному випадку e_s – це постійна (617 Па), а e_a – це функція температури і відносної вологості навколишнього повітря. Зазвичай вважається, що відносна вологість у хмарі становить 100 %.

Величина Q_1 – це результат різниці температур між поверхнею об'єкта, що зазнає обледеніння, і краплями, що стикаються з нею.

$$Q_1 = FC_w(t_s - t_d)$$

де

C_w – питома теплоємність води;

t_d – температура крапель при зіткненні.

Можна припустити, що для хмарних крапель $t_d = t_a$; таке припущення повинно стосуватися також переохолоджених крапель дощу.

Втрати тепла на довгохвильове випромінювання можна параметризувати як:

$$Q_S = \sigma a(t_s - t_a),$$

де σ – це постійна Стефана-Больцмана ($5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$), а a –

e_a is the ambient vapour pressure in the air stream;

p is the air pressure.

Here e_s is a constant (617 Pa) and e_a is a function of the temperature and relative humidity of ambient air. It is usually assumed that relative humidity is 100 % in a cloud.

The term Q_1 is caused by the temperature difference between the impinging spray droplets and the surface of the icing object.

$$(C.12)$$

where

C_w is the specific heat of water;

t_d is the temperature of the droplets at impact.

For cloud droplets $t_d = t_a$ may be assumed, and this assumption must usually be made also for supercooled raindrops.

The heat loss due to long-wave radiation may be parameterized as

$$(C.13)$$

Where σ is the Stefan-Boltzmann constant ($5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$) and a is

постійна лінеаризації випромінювання ($8,1 \times 10^7 \text{ K}^3$). У даному рівнянні враховується тільки довгохвильове випромінювання і допускається загальна випромінювальна здатність як для поверхні обледеніння, так і для навколишнього середовища.

В результаті параметризації рівнянь (C.8)–(C.13) у рівнянні теплового балансу (C.7) і рішення фракції відкладення отримуємо наступне рівняння:

$$\eta_3 = \frac{h}{F(1-\lambda)L_f} \left[(t_s - t_a) + \frac{\varepsilon L_e}{C_p p} (e_s - e_a) - \frac{rv^2}{2C_p} \right] + \frac{C_w(t_s - t_a)}{(1-\lambda)L_f} + \frac{\sigma a(t_s - t_a)}{F(1-\lambda)L_f} \quad (\text{C.14})$$

Досі, однак, нічого не було сказано про визначення коефіцієнта конвективного теплообміну h в рівнянні (C.14). Є стандартні методи оцінки як місцевих, так і загальних значень для h на гладких об'єктах різних розмірів і форм. Більшість моделей обледеніння допускає, що коефіцієнти теплопередачі циліндрів досить добре представляють об'єкти обледеніння. Навіть якщо допускати таку просту форму, проблема ускладнюється шорсткістю поверхні льоду. Ефект поверхневої шорсткості теоретично вивчено у всіх деталях [17], і дана теорія може

radiation linearization constant ($8,1 \times 10^7 \text{ K}^3$). This equation takes into account only long-wave radiation and assumes emissivities of unity for both the icing surface and the environment.

Using the parameterizations of equations (C.8) to (C.13) in the heat balance equation (C.7) and solving the accretion fraction, results in the following equation

So far nothing has been said about determining the convective heat transfer coefficient h in equation (C.14). There are standard methods to estimate both local and overall values for h on smooth objects with various sizes and shapes. In most icing models it has been assumed that the heat transfer coefficients of cylinders represent the icing objects well enough. Even assuming this simple shape, roughness of the ice surface makes the problem rather complicated. The effect of roughness of the surface on has been studied theoretically in detail [17], and this theory can be used as a part of an icing model.

використовуватися як частина моделі обледеніння.

Маючи оцінку h , рівняння (C.14) може використовуватися для визначення інтенсивності відкладення η_3 і виведення рівняння інтенсивності обледеніння (C.1). Незважаючи на те, що рівняння (C.14) записане в значеннях щільності водяного потоку F , воно дійсне також і в місцевому відношенні для поверхні об'єкта, що зазнає обледеніння. У цьому випадку F представляє прямий масовий потік плюс рециркуляційна вода з інших секторів поверхні. Тоді середня температура потоку нетто буде відрізнятися від температури крапель. Для того, щоб спрогнозувати не тільки загальну масу ожеледного відкладення, але і його форму та вертикальний розподіл, ці аспекти визначення місцевого теплового балансу включені до деяких моделей обледеніння (див., наприклад, у Бібліографії [11] і [31]).

C.3 Числове моделювання

Рішення проблеми інтенсивності обледеніння аналітичним способом за допомогою рівняння (C.14) є недоцільним, оскільки воно

With an estimate of h , equation (C.14) can now be used in determining the accretion efficiency η_3 , and thereby the rate of icing equation (C.1). It should be noted that although equation (C.14) has been written in terms of the spray water flux density F , it is basically valid also locally on the surface of an icing object. In that case F represents the direct mass flux plus the run-back water from the other sectors of the surface. Then, also the mean temperature of the net flux will be different from the temperature of the droplets. In order to predict not only the overall mass of the accretion, but also its shape and vertical distribution, these aspects of formulation the local heat balance have been included in some of the recent icing models (see, for example, refs. [11] and [31]).

C.3 Numerical modelling

Solving the icing rate analytically using equation (C.14) is not practical, because empirical equations for the dependence of saturation water vapour

передбачає використання емпіричних рівнянь залежності тиску насиченої водяної пари і питомої теплоти від температури, а також процедуру визначення h . Числові методи повинні використовуватися ще й тому, що обледеніння є процесом, залежним від часу, і зміни розмірів ожеледних відкладень впливають на h коефіцієнт теплообміну A в рівнянні (C.1). Все це ускладнює процес обледеніння. На рис. C.4 представлено схематичне зображення деяких взаємозв'язків даного процесу. Сучасні комп'ютери забезпечують надійний вивід результатів під час роботи зі складними моделями обледеніння. Проблема форми ожеледного відкладення, що змінюється із часом, зазвичай вирішується таким способом: просто вважається, що ожеледні відкладення мають циліндричну геометрію. Однак проблема може ускладнитися утворенням бурульок. Окрема модель, що імітує утворення бурульок [19], може використовуватися при моделюванні обледеніння під впливом крижаного дощу.

Так у [21] пропонується

pressure, and specific heats on temperature, as well as the procedure in determining h are involved. Numerical methods must be used also because icing is a time-dependent process, and the changes in the dimensions of the accretion affect h the heat transfer coefficient A in equation (C.1) and, as examples. All this makes the process of icing a rather complicated one. A schematic presentation of the many relationships involved is shown in Figure C.4. Modern computers provide means to readily obtain results of the complex icing models. The problem of accretion shape changing with time is usually avoided by assuming that the ice deposit maintains its cylindrical geometry. The growth of icicles may complicate the problem. A separate model that simulates icicle growth [19] may be included in the simulations when icing due to freezing rain is modelled.

Such a comprehensive model for

комплексна модель імітації ожеледних навантажень, спричинених крижаним дощем.

Числові моделі обледеніння, залежні від часу, вимагають також моделювання густини ожеледних відкладень. Це пояснюється тим, що інтенсивність обледеніння для наступної часової стадії залежить від розмірів об'єкта A в рівнянні (C.1), для чого необхідно знати взаємозв'язок між змодельованим ожеледним навантаженням і розмірами обледенілих конструкцій. Для паморозевого обмерзання щільність може моделюватися числовим методом за допомогою окремої балістичної моделі [30]. У більшості випадків для визначення густини ρ паморозі (сухий приріст) на циліндрі може використовуватися наступне, найбільш відповідне рівняння [23]:

$$\rho = 0,378 + 0,425(\log R) - 0,0823(\log R)^2 \quad (C.15)$$

Тут R – це параметр Маккліна [12]:

$$R = -(v_o d_m) / 2t_s \quad (C.16)$$

де v_o – швидкість зіткнення крапель, виходячи з середньої величини об'єму

simulations of ice loads due to freezing rain has been proposed [21].

Time-dependent numerical models of icing also require modelling of the density of the accreted ice. This is because the icing rate for the next time-step depends on the dimensions of the object A in equation (C.1) and the relationship between the modelled ice load and dimensions of the iced structures is, therefore, required. For rime ice, the density may be simulated numerically by a separate ballistic model [30]. For most applications the following best-fit equation [23] may be used for the density ρ of rime ice (dry growth) on a cylinder:

Here, R is Macklin's parameter [12]:

where v_o is the droplet impact speed based on the median volume droplet size d_m ;

крапі d_m ;

t_s – температура поверхні ожеледного відкладення.

Рівняння для розрахунку v_o можна взяти з джерела [5]. Температура поверхні t_s може визначатися числовим методом із рівняння теплового балансу. Однак у більшості випадків атмосферної паморозі, температура повітря при обледенінні може приблизно дорівнювати t_a .

Для ожеледі (вологий приріст) значення густини мають невеликі варіації, виходячи з чого можна допустити, що ці значення складатимуть $0,9 \text{ г/см}^3$.

t_s is the surface temperature of the accretion.

Equations to calculate v_o can be found in ref. [5]. The surface temperature t_s must be solved numerically from the heat balance equation. However, in most cases of atmospheric rime the air temperature can approximate icing t_a .

For glaze ice (wet growth) the density variations are small and the value of $0,9 \text{ g cm}^{-3}$ may be assumed.

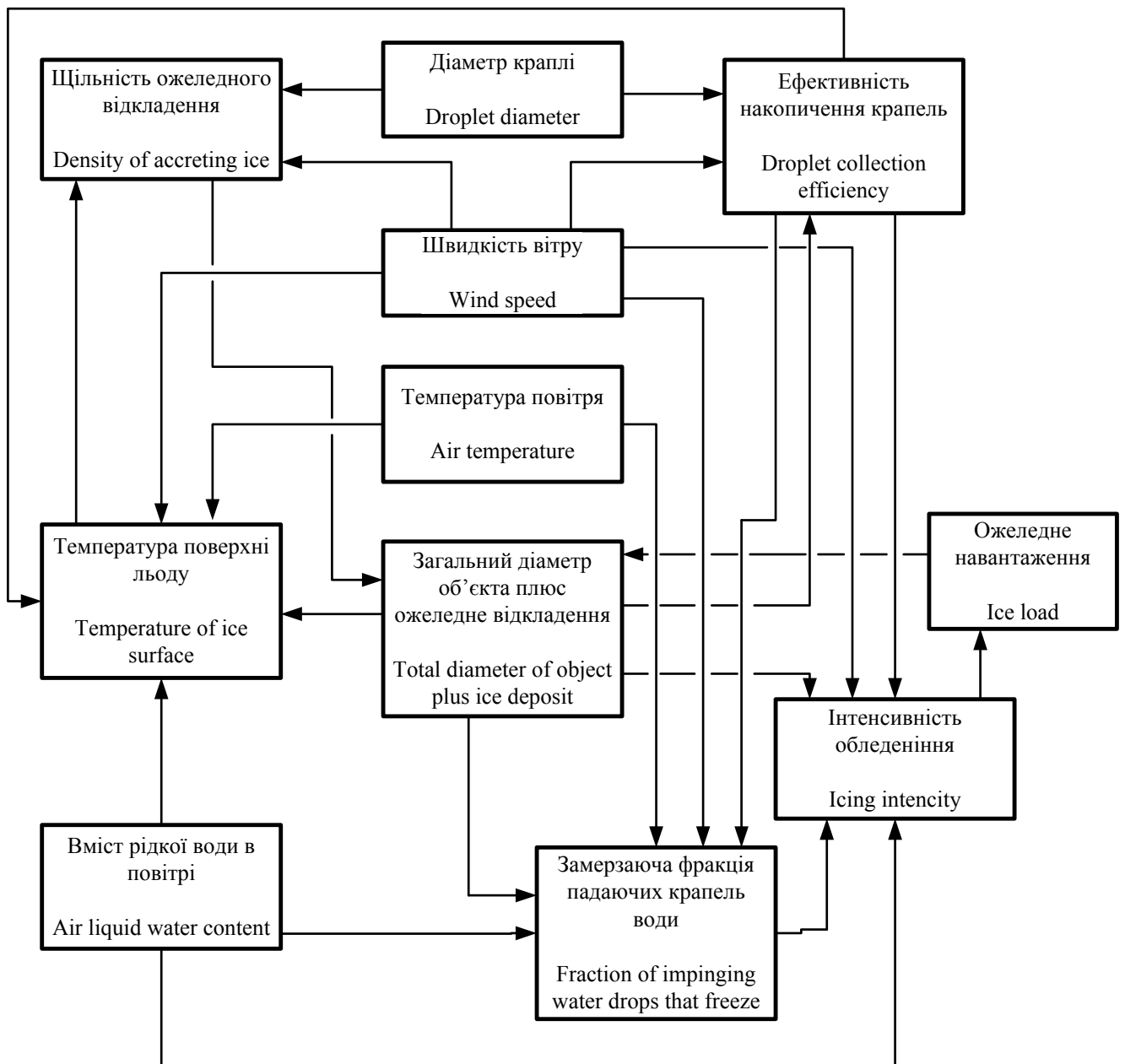


Рисунок С.4 – Взаємозалежність різних факторів процесу обледеніння, спричиненого краплями води

Figure C.4 – Interdependence of various factors of the icing process caused by water droplets

Щільність мокрого снігу підвищується з підвищенням швидкості вітру; при цьому кількісна оцінка щільності снігу залишається донині невідомою. Виходячи з даних польових спостережень [8],

Wet snow density increases with increasing wind speed, but quantitative estimation of the density of snow is uncertain at present. Therefore, it is reasonable to assume a constant value of $0,4 \text{ g cm}^{-3}$ based on field data [8]. It

допускається використання постійного значення $0,4 \text{ г/см}^3$. Однак в екстремальних випадках налипання мокрого снігу щільність (густина) може виявитися вищою, як правило, близько $0,7 \text{ см}^{-3}$ [3].

Національне пояснення:

Відповідно до розділу 4 цього стандарту для густини льоду ρ зазначено одиниці вимірювання $[\text{кг/м}^3]$. Тому наведену у даному пункті величину $0,7 \text{ см}^{-3}$ із [3] слід розуміти як $0,7 \text{ г/см}^3$.

В результаті систематизації наведених вище оцінок густини ожеледних відкладень можна розробити числову модель імітації обледеніння об'єкта в залежності від часу. Схематичний опис моделі обледеніння наведено на рис. С.5.

Реальна конструкція, наприклад, щогла, зазвичай складається з невеликих конструкційних елементів різних розмірів. Тому для спрощення процесу моделювання таку складну конструкцію можна розділити на кілька груп невеликих елементів і розрахувати ожеледне навантаження окремо для кожного елемента, а потім скласти всі отримані результати для

appears, however, that in severe cases of wet snow accretion the density may be higher, typically around $0,7 \text{ см}^{-3}$ [3].

When the above-mentioned estimates of the density of accretions are included in the system, a numerical model can be developed to simulate the time-dependent icing of an object. A schematic description of an icing model is shown in Figure C.5.

A real structure, such as a mast, usually consists of small structural members of different size. Modelling of icing of such a complex structure may be done by breaking the structure into an ensemble of smaller elements, calculating the ice load separately for each element and finally summing up the results to get the total ice load.

виведення загального ожеледного навантаження.

С.4 Обговорення

Теорія обледеніння конструкцій вже отримала часткове підтвердження [7], [13], [23], [24]. Проте ще залишається багато нез'ясованих питань, які потребують більш ретельного розгляду і перевірки.

Основна невизначеність виявляється тоді, коли ефективність зіткнення η має дуже низьке значення ($\eta_1 < 0,1$). У цьому випадку теорія С.2.1 намагається пояснити надто низькі значення η_1 [26] тим, що шорсткі елементи поверхні діють, як окремі колектори. Коли η_1 має невелике значення, обледеніння також має невелику інтенсивність [див. рівняння (С.1)], завдяки чому дана проблема не перешкоджає оцінці розрахункових ожеледних навантажень. Однак коли конструкція (наприклад, повністю обледеніла щогла) має великі розміри (A в рівнянні С.1), обледеніння може відбуватися інтенсивно, навіть при низьких значеннях η_1 .

Тобто оцінка обмерзання дуже великих об'єктів, зокрема, в умовах невеликої швидкості вітру, вимагає

С.4 Discussion

The theory of ice accretion on structures has partly been well verified [7], [13], [23], [24]. However, there remain several uncertain areas which require more development and verification.

A major uncertainty is involved when the collision efficiency η is very small ($\eta_1 < 0,1$). In such a case the theory in С.2.1 tends to predict too small values of η_1 [26] mainly because the roughness elements of the surface act as individual collectors. When η_1 is small, the icing is also very small [see equation (C.1)], so that this problem does not generally hamper the estimation of design ice loads. However, when the size (A in equation C.1) of the structure is large (e.g. fully iced mast), the growth rate of the total ice load may be substantial even at low η_1 .

Estimates of icing for very large objects, particularly at low wind speeds, should, therefore, be made with caution.

особливої уваги.

Удосконалення методів оцінки даних параметрів є досить проблематичним, оскільки в умовах низьких значень величина η_1 настільки чутлива до змін розмірів крапель (MVD), що її точне визначення виявляється неможливим через похибки вимірювання MVD.

There is not much hope of improving the estimation methods in this respect, because at low values η_1 is so sensitive to changes in the droplet size (MVD) that its accurate determination is impossible due to errors in measuring or otherwise estimating the MVD.

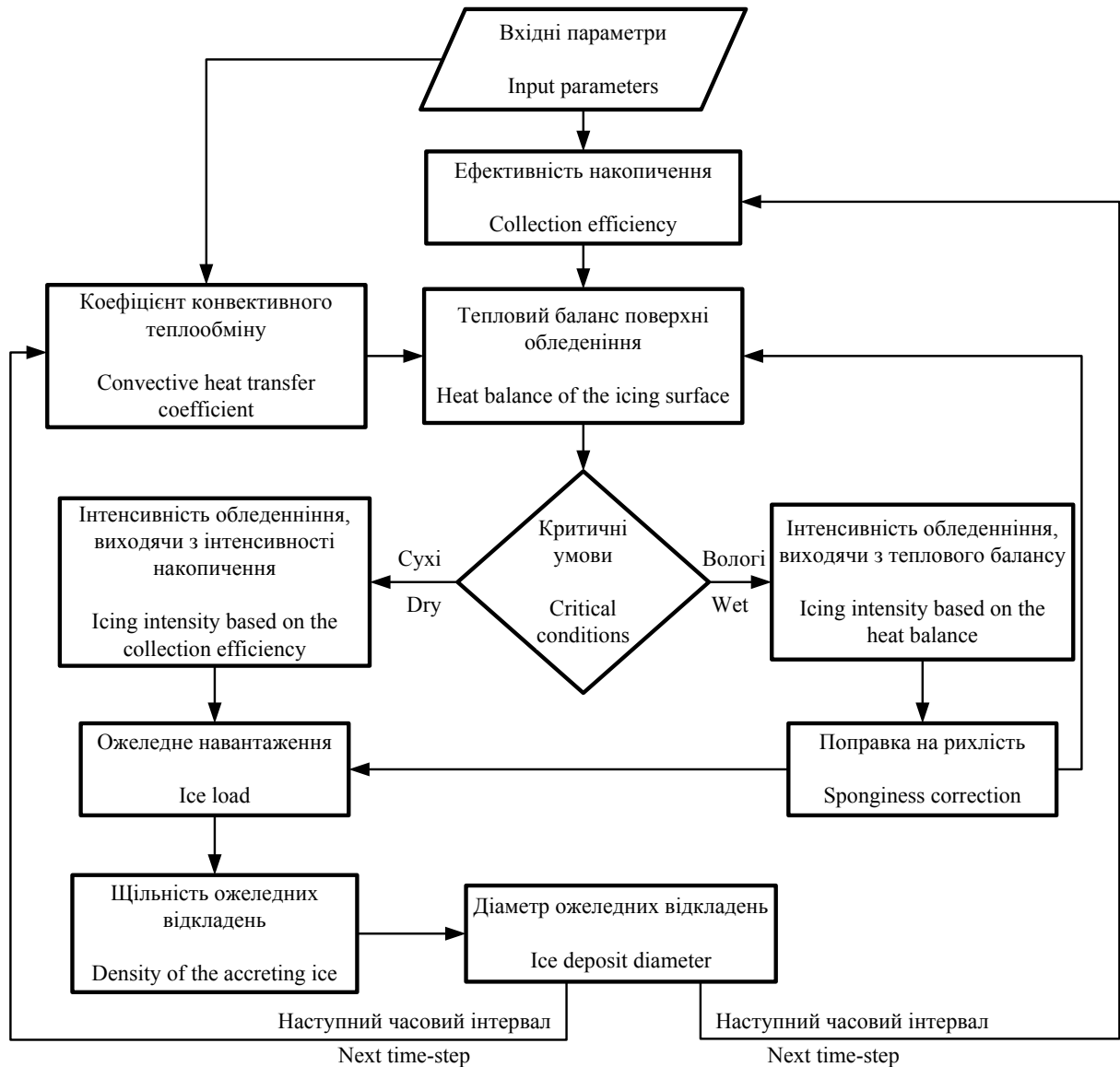


Рисунок С.5 – Спрощена блок-схема числової моделі обледеніння
Figure C.5 – Simplified block diagram of a numerical icing model

Оцінка ефективності прилипання η_2 мокрих сніжинок характеризується нині певною неточністю. Рівняння (С.6) слід розглядати тільки як першу апроксимацію, допоки не будуть розроблені складніші методи оцінки η_2 . При розгляді великих крапель води (дощу) вважається, що деякі краплі можуть відскакувати від поверхні [10]; якщо це так, то $\eta_2=1$ може призвести до невеликих похибок.

Інтенсивність відкладення η_3 є, як правило, найбільш точним параметром у рівнянні (С.1). Тому теоретична оцінка утворення ожеледі (вологий приріст) відрізняється відносною надійністю за умови, що дана модель має правильні вхідні значення. Однак, якщо частина ожеледного навантаження спричинена бурульками, моделювання [21] потрібно виконувати з використанням окремої моделі утворення бурульок [13], [19]. У такому разі загальне навантаження буде дуже чутливим до температури повітря.

Ця теорія базується головним чином на припущенні, що об'єкт має циліндричну форму, хоча насправді це

Estimation of the sticking efficiency η_2 of wet snowflakes is presently quite inaccurate. Equation (C.6) should be seen only as a first approximation until more sophisticated methods to estimate η_2 have been developed. For large water drops (rain) there remains a possibility that some drops may bounce [10], and, if so, $\eta_2=1$ may lead to small errors.

The accretion efficiency η_3 is generally the most accurate factor in equation (C.1). Therefore, theoretical estimation of glaze formation (wet growth) is relatively reliable, providing that the model has the correct input. However, if icicles contribute to the ice load, a separate model of icicle growth [13], [19] needs to be incorporated in the modelling [21]. In such a case the total load is very sensitive to the air temperature.

The theory in this clause is mostly based on the assumption that the shape of the icing object is cylindrical. In the field,

може бути не так. Але навіть якщо конструкційні елементи виявляться циліндричними, їхня форма зміниться з наростанням льоду. Це призведе до похибок у моделюванні. При цьому є підстави вважати, що це не головна проблема розрахунку навантажень від паморозі [16], [23], якщо тільки відхилення від циліндричної форми не є критичним. Методи прогнозування форми ожеледних відкладень розроблено (див., наприклад, [11], [29], [31]), але їх застосування обмежується тим, що коефіцієнти η_1 , η_2 і η_3 у рівнянні (C.1) поки не адаптовані для складніших форм. При цьому треба зазначити, що форма відкладення має важливе значення у відношенні до опору вітру і підйимальної сили. З цієї причини для аеродинамічних профілів розроблено спеціальні числові моделі (див., наприклад, [4], [27]).

Моделюючи обледеніння складних конструкцій, потрібно зазначити, що деякі елементи конструкції можуть бути захищені від обледеніння іншими елементами, а деякі окремі елементи можуть піддаватися спільному обмерзанню. Така проблема має розглядатися

the structural members may not be cylindrical, and even if they are the ice accreted on them will change their shape. This causes errors in the modelling. There are indications, however, that this is not a major problem in predicting rime ice loads [16], [23], unless the deviation from the cylindrical shape is extreme. Methods to predict the shape of ice accretion have been developed (see, for example, refs. [11], [29], [31]) but they are of limited use until the factors η_1 , η_2 and η_3 in equation (C.1) can be predicted for more complex shapes. The shape of the accretion is, however, important regarding the wind drag and lift. For this reason, specific numerical models have been developed for airfoils (see, for example, refs. [4], [27]).

When modelling icing of complex structures, some components of the structure may be sheltered from ice accretion by other components. Also, different parts of the structure may completely freeze together, where after they should be modelled as a single object. These kind of aspects must be

окремо для кожної конструкції за допомогою дрібномасштабних експериментів [25].

Що стосується теоретичних моделей обледеніння, а саме розрахунку ожеледних навантажень, то для них головною проблемою є відповідність вхідних даних.

Середній об'ємний розмір краплі (MVD) і вміст рідкої води (LWC), які не вимірюються стандартними методами, не є суттєвими для обмерзання ожеледдю [14], але мають критичне значення для паморозевого обмерзання. Для обледеніння внаслідок атмосферних опадів важливими є інтенсивність опадів і точна температура повітря. Екстраполяція цих та інших вхідних параметрів на конструкції, розташовані на далекій відстані, вкрай складна. Тому перспективи теоретичного моделювання в майбутньому залежать від прогресу в даній сфері.

considered individually for each structure and can be studied by small-scale experiments [25].

As to the use of theoretical icing models in predicting design ice loads, the major problem is the input requirement.

The median volume droplet size (MVD) and liquid water content (LWC), which are not routinely measured, are insignificant when considering freezing precipitation icing [14], but critically affect rime icing. In freezing precipitation, on the other hand, precipitation intensity and accurate air temperature are important. Extrapolation of these and other required input parameters to the often remote sites of the structures of interest is extremely difficult. The future usefulness of the theoretical modelling of icing essentially depends on progress in this area.

ДОДАТОК D (ДОВІДКОВИЙ) – КЛІМАТИЧНА ОЦІНКА ЛЬДОВИХ КЛАСІВ ЗА МЕТЕОРОЛОГІЧНИМИ ДАНИМИ

D.1 Вступ

Відкладення льоду і снігу на лініях електропередач, телевізійних вежах і телекомунікаційних системах є одним із найважливіших параметрів проектування в регіонах із холодним кліматом. Результати вимірювання ожеледних відкладень у багатьох районах представлені в просторовому і часовому відношенні у надто обмежених обсягах, для того щоб їх можна було використовувати при оцінці розрахункових ожеледних навантажень. Розрахунки кліматичних ожеледних навантажень можна проводити також на підставі метеорологічних даних, отриманих від метеостанцій. У даному додатку розглядаються методи кліматичної оцінки льодових класів на підставі метеорологічних даних стосовно обмерзання памороззю, ожеледдю і налипання мокрого снігу. Перевага кліматологічних даних полягає в тому, що вони систематизовані протягом

ANNEX D (INFORMATIVE) – CLIMATIC ESTIMATION OF ICE CLASSES BASED ON WEATHER DATA

D.1 Introduction

Accretion of ice and snow on power lines, TV-towers and telecommunication systems is a major design factor in cold regions. Measured ice accretion data for many areas have too poor spatial and temporal representation to be used in estimating design ice loads. Climatic ice load estimates can also be prepared based on meteorological data from weather stations. Methods to make climatic estimates of ice classes based on weather data for rime ice, ice due to freezing precipitation, and wet snow are described here. The advantage of using climatological data is that they are available for long periods and with relatively good spatial coverage. The disadvantage is, of course, that the correlation between the icing phenomena and routinely measured weather data may be low and needs to be quantified by ice observations or by icing models (see annex C).

тривалого періоду часу і мають відносно хороше просторове покриття. Недоліком є погана кореляція параметрів обледеніння із звичайними метеорологічними даними; для вирішення цієї проблеми потрібні додаткові спостереження або використання моделей обледеніння (див. додаток С).

D.2 Дані

Події внутрішньохмарного обледеніння можна визначати тільки за даними висоти нижньої межі хмар. Ретельні спостереження за нижньою межею хмарності ведуться в аеропортах, але немає гарантії, що такі спостереження є частиною роботи інших метеорологічних станцій. Тому для аналізування краще використовувати інформацію метеостанцій аеропортів.

Аналізування даних може здійснюватися за допомогою комп'ютера, проте для аналізу обледеніння внаслідок опадів і для налипання мокрого снігу використовуються вихідні аркуші спостережень, для яких може знадобитися неавтоматизований контроль.

D.2 Data

In-cloud icing events can be determined only by information on the height of the cloud base. The cloud base is observed very carefully for aviation purposes at airports, but not necessarily so at other synoptic weather stations. Therefore, data from airport weather stations should preferably be used in the analysis.

The data can be analysed by a computer, except for the cases of freezing precipitation and wet snow for which original observation sheets might need to be manually checked.

Це пояснюється тим, що тривалість опадів часто коротша за період спостереження за кількістю опадів. Точний час початку і закінчення події можна визначити за позначками на аркушах спостережень, якщо вони подані не у формі синоптичних файлів. Якщо дані про кількість опадів відсутні, можна використовувати норми кліматичних умов для їх визначення.

D.3 Методи

D.3.1 Опали з утворенням ожеледі

Опади з утворенням ожеледі можна вибрати з метеоданих за допомогою таких критеріїв:

- крижаний дощ або переохолоджена мряка, зазначені в метеозведенні, або
 - дощ або мряка і $t_w < 0$ °C,
- де t_w – температура за мокрим термометром.

Як зазначено вище, тривалість події, інтенсивність опадів, середня температура повітря і швидкість вітру можуть бути розраховані на підставі даних журналів метеоспостережень.

Докладний аналіз вимагається тільки у випадках сильного крижаного дощу. Такі дані вибираються,

This is because the duration of precipitation is often shorter than the observation interval for precipitation amount. The accurate time of the beginning and end of the event can be determined from markings on the observation sheets, if they are not in the synoptic data files. If precipitation amounts are not available the present weather code may be used in estimating them.

D.3 Methods

D.3.1 Freezing precipitation

Freezing precipitation events may be selected from the data by using the following occurrence criteria:

- freezing rain or freezing drizzle reported, or
 - rain or drizzle and $t_w < 0$ °C,
- where t_w is the wet bulb temperature.

As mentioned above, the duration of the event, and the resulting precipitation intensity and mean air temperature and wind speed for the event, might have to be determined manually from the observation logbooks.

A detailed analysis needs to be made only on significant cases of freezing rain. These can be selected on

виходячи з зареєстрованої інтенсивності і тривалості опадів. До важливих для аналізу випадків, наприклад, можна віднести сильний крижаний дощ впродовж більше 30 хвилин або легкий крижаний дощ протягом більше 60 хвилин.

Ожеледне навантаження для кожної значної події можна вивести за допомогою модифікованої версії моделі обледеніння Макконена [16], [21] (див. також додаток С). Контрольний об'єкт, визначений у додатку В, використовується як вихідний об'єкт обледеніння.

D.3.2 Внутрішньохмарне обледеніння

За визначенням, внутрішньохмарне обледеніння може відбутися в тому випадку, коли висота нижньої межі хмар H_b знаходиться нижче висоти розглядуваної точки H_i . Відповідно, в аналізі використовується критерій:

$$H_b < H_i$$

та

and

$$t_a < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

де t_a – температура повітря.

where t_a is the air temperature.

Виходячи з розподілу

Based on the distribution of the

the basis of reported quantitative precipitation intensity and duration. For example, events, where freezing rain last more than 30 min, and where light freezing rain last more than 60 min can be considered significant in the analysis.

The ice load can be derived for each significant event by a modified version of the Makkonen icing model [16], [21] (see also annex C). The reference object defined in annex B is used as the initial icing object.

D.3.2 In-cloud icing

In-cloud icing, by definition, can only occur when the height of the cloud base H_b is lower than the height of the location of interest H_i . Accordingly, the criterion used in the analysis is

спостережуваної величини H_b відносно H_i , події внутрішньохмарного обледеніння можуть бути визначені на різних рівнях i .

Числові моделі обледеніння не використовуються для внутрішньохмарного обледеніння в рамках даного методу, оскільки розмірний розподіл крапель і вміст рідкої води, необхідні для моделювання, не вимірюються на метеорологічних станціях. Замість цього, кількість відкладення паморозі M_i (у кілограмах на метр квадратний проекційної зони) для випадку обледеніння (або для одного інтервалу даних спостереження) можна розрахувати за допомогою простого емпіричного рівняння [2].

$$M_i = 0,11 v \tau_i$$

де v – середня швидкість вітру на висоті 10 м, у метрах в секунду;
 τ_i – тривалість внутрішньохмарних умов у точці H_i , у годинах.

Виведені таким способом значення можуть бути трансформовані в кілограми на метр, для чого M_i потрібно помножити на діаметр контрольного об'єкта, тобто на 0,03.

observed H_b in relation to H_i the in-cloud icing events can be determined at various levels i .

Numerical icing models are not used for in-cloud icing in this method, because droplet size distributions and liquid water contents, required by the models, are not measured at the weather stations. Instead, the amount of accreted rime M_i (in kilograms per square metre of the projection area) for an icing event (or for one observation interval of the data) may be calculated by a simple empirical equation [2].

where v is the mean wind speed at 10 m height, in metres per second;
 τ_i is the duration of in-cloud conditions at H_i , in hours.

The values thus derived can be transformed into kilograms per metre by multiplying M_i by the diameter of the reference object; i.e. by 0,03.

Сумарне ожеледне відкладення за місяць можна розрахувати для декількох рівнів H_i . При цьому можна визначити також рівні, на яких відбувається перевищення певного значення M . Зокрема, максимальні навантаження з однієї події для кожного року або місяця визначаються з урахуванням того, що одна подія обледеніння закінчується (сумарний розрахунок величини M починається знову з нуля), коли виконуються умови спостереження, за яких $t_a > 0$ °C. Іншими словами, дві або декілька послідовних подій, що відповідають умовам критерію, розглядаються як одна подія, якщо між ними відсутня позитивна температура повітря.

Даний аналіз застосовується для рівнів, близьких до землі. Ці ж дані можуть використовуватися і для високої щогли, але механізм розрахунку при цьому буде змінений, тому що для кожного рівня H_i буде використовуватися інша швидкість вітру v_i . Це можна зробити за допомогою апроксимації відповідного профілю вітру.

Можливі вертикальні градієнти температури повітря і вмісту рідкої

Monthly cumulative ice accretion may then be calculated for several levels H_i . Also levels at which a certain value for M is exceeded can be determined. In particular maximum loads from one event for each year or month are determined considering that one icing event ends (cumulative calculation of M starts again from zero) when an observation is met for which $t_a > 0$ °C. In other words, two or more consecutive events that meet the criterion are considered as one, if the air temperature has not been positive in between.

The above analysis applies close to the ground. For tall mast, the same data may be used, but the calculation is modified in such a way that a different wind speed v_i is used for each level H_i . This can be done by an approximation of the appropriate wind profile.

The possible vertical gradients of air temperature and liquid water content

води в хмарі не можуть зазвичай враховуватися в аналізі через відсутність даних за цими показниками в типових умовах внутрішньохмарного обледеніння.

D.3.3 Мокрий сніг

Події випадіння мокрого снігу (лише на рівні землі) вибираються з даних за допомогою наступного критерію:

- спостерігається снігопад чи йде сніг із дощем, та
- $t_w > 0$ °C.

Аналогічно до переохолоджених опадів, неавтоматизований аналіз із використанням реєстраційних журналів потрібен також для визначення інтенсивності та тривалості цих подій. Виходячи з цих даних, розраховується кількість кумулятивних опадів у вигляді мокрого снігу.

За даними кожної метеостанції в результаті аналізування виводиться середнє і максимальне значення кількості мокрого снігу у вираженні еквівалентної товщини шару води (або в кілограмах на метр квадратний) на горизонтальній поверхні. В рамках оцінки ризиків це значною мірою

within the cloud cannot usually be taken into account in the analysis due to lack of data on these factors under typical in-cloud icing conditions.

D.3.3 Wet snow

Wet snow cases (ground level only) are selected from the data by using the criterion [20]:

- snowfall or sleet is observed, and
- $t_w > 0$ °C

Similarly to freezing precipitation, manual analysis using the log-book is required to find the intensity and duration of these events. The cumulative wet snow precipitation amount is calculated from these.

The analysis gives, for each weather station, the mean and maximum wet snow amounts in terms of equivalent water thickness (or in kilograms per square metre) on a horizontal surface. This largely corresponds to wet snow loads on for example wires [20] in terms of risk evaluation. Again the values are

відповідає навантаженню від мокрого снігу, наприклад, на дротах [20]. І в цьому випадку дані значення помножуються на діаметр контрольного об'єкта з метою приведення їх до ваги на одиницю довжини контрольного об'єкта.

D.4 Застосування

Льодовий клас визначається для місцевостей, де розташовані метеостанції, і для висот H_i над поверхнею землі за допомогою статистичного аналізу, наприклад, змодельованих річних максимальних подій. Потім льодовий клас розглядуваної місцевості для різних рівнів над поверхнею землі визначається за допомогою екстраполяції. Приклад такого розрахунку наведено в бібліографічному джерелі [28].

multiplied by the diameter of the reference object to make them correspond to a weight per unit length of the reference object.

D.4 Application

The ice class is determined for the locations of the weather stations and heights H_i above terrain by statistical analysis of for example the simulated annual maximum events. Then the ice class of the location of interest at various heights above terrain is determined by extrapolation. An example of the procedure is given in ref. [28].

**ДОДАТОК Е (ДОВІДКОВИЙ) –
РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО
ЗАСТОСУВАННЯ ЦЬОГО
СТАНДАРТУ**

**ANNEX E (INFORMATIVE) – HINTS
ON USING THIS INTERNATIONAL
STANDARD**

Е.1 Вступ

Мета цього додатка полягає в тому, щоб полегшити розуміння користувачем даного стандарту.

Оскільки це стандарт нового типу і основу його змісту складають вказівки і рекомендації, користувачеві, можливо, буде важко уявити собі загальний вигляд його структури.

Ми сподіваємося, що цей додаток допоможе, а також спонукатиме загалом до використання даного «інструмента проектування з урахуванням фактора обледеніння». Застосування цього стандарту має також спонукати метеорологів до збирання докладної і/або якісної інформації, необхідної для виконання вимог цього стандарту.

У майбутньому, «настанови» можна буде поступово «трансформувати» в «нормативний текст» із наступним перетворенням, протягом більш тривалого періоду, у стандарт, аналогічний до інших

Е.1 Introduction

This annex has the intention to make this International Standard more easily understood by the user.

As it is a quite new type of standard, and most of the content is guidance and recommendations, it might be difficult to get the general view of the whole structure.

It is hoped that this annex will help and, by doing so, will give incentive to a common and general use of this «tool of design for ice». This general use is also a necessity to urge meteorologists to gain more and/or better information on the specific topics that this International Standard needs.

In the future it should be possible to slowly «upgrade» data from «guidance» to «normative text» and in this way in the long term achieve a standard, very much alike all other standards for actions on structures.

використовуваних стандартів щодо впливів на конструкції.

Запам'ятайте цю цитату:

«Вкрай важливо при проектуванні хоч якоюсь мірою враховувати фактор обледеніння, ніж повністю ігнорувати його».

Блок-схема методики розрахунку наведена на рис. Е.1.

Е.2 Визначення льодового класу для будівельного майданчика

Льодовий клас виражається як ICG x (ожеледь) або ICR x (паморозь), де x – це число.

Для визначення льодового класу використовуються три методи або три комбінації з них.

- Метод А: Збирання даних наявного досвіду.
- Метод В: Моделювання обледеніння метеорологами.
- Метод С: Багаторічні прямі вимірювання.

Примітка. У багатьох випадках належить використовувати комбінації із зазначених вище методів. Метеорологам, у яких вже є станції спостереження за обледенінням, рекомендується використовувати дані методи і якомога швидше повідомляти про результати своїх вимірювань ожеледних відкладень згідно з

Remember this quote:

«It is extremely important to design for some ice instead of no ice.»

See Figure E.1 for a flowchart of the calculation procedure.

E.2 Find ice class(es) for the building site

Ice class is expressed as ICG x (glaze) or ICR x (rime), where x is a number.

There are three methods or combinations of these to achieve this.

- Method A: Collecting existing experience.
- Method B: Icing modelling by meteorologists.
- Method C: Direct measurements for many years.

NOTE In many cases it is appropriate to use combinations of the methods mentioned above. Meteorologists who already have ice-collecting stations in service are requested to, as soon as possible, use the method for reporting about their measurements of ice accretion as proposed in annex B. If this is done, there will be a lot of useful information available in a few

додатком В. Якщо ця рекомендація буде виконуватися, то протягом найближчих років можна буде отримати багато корисної інформації.

Інформація про обледеніння використовується для визначення льодових класів (IC).

а) Якщо йдеться про обмерзання ожеледдю, використовуйте дані з табл. 3.

б) Якщо йдеться про обмерзання памороззю, використовуйте дані з табл. 4.

Примітка. Якщо потрібно використовувати рівняння для визначення густини льоду, не зазначене в табл. 4, таким рівнянням є (A.5).

На цьому визначення льодових класів ICG_x і ICR_x вважається завершеним.

years.

The information from ice collection as mentioned above is used to find the ICs.

a) If ice accretion is glaze: use the information in Table 3.

b) If ice accretion is rime: use the information in Table 4.

NOTE The equation to be used for density of ice not mentioned in Table 4 is equation (A.5).

Now the ICG_x or the ICR_x have been found.

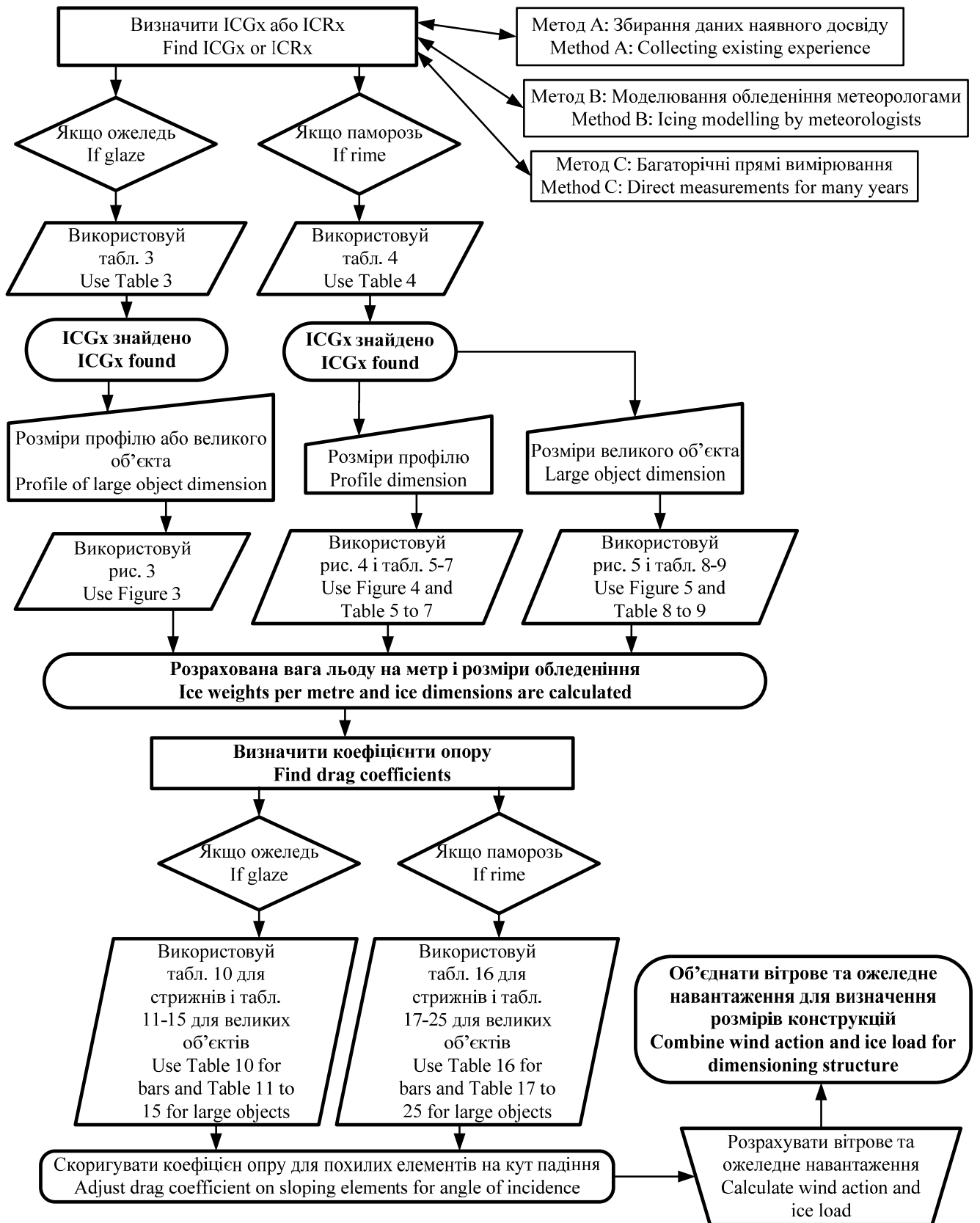


Рисунок Е.1 – Блок-схема методики розрахунку
Figure E.1 – Flowchart of calculation procedure

Е.3 Визначення обледеніння на відповідних профілях

Е.3.1 Конструкції з окремих елементів (наприклад, ґратчасті конструкції)

Необхідно визначити тип(и) і розміри профілів, що використовуються в тих чи інших ґратчастих конструкціях. Можливо, спочатку потрібно визначити приблизні розміри, а потім уточнити їх у процесі проектування. Після з'ясування даних стосовно профілів необхідно визначити розміри ожеледних відкладень і власну вагу.

а) Обмерзання ожеледдю: використовуйте ICGx та інформацію рис. 3. Рівнянням, яке має використовуватися для визначення розмірів, не зазначених у табл. 3, є рівняння (A.4). При цьому необхідно визначити зовнішні розміри і власну вагу ожеледних відкладень.

Зовнішній розмір ожеледного відкладення – це розмір профілю + $2t$.

Примітка. Як правило, модель може використовуватися і для великих розмірів (діаметр або ширина понад 300 мм). Густина льоду можна змінити, але зазвичай це не робиться.

E.3 Find ice accretion on types of profiles in question

E.3.1 Structures built of single members (e.g. lattice structures)

Type(s) and dimension of profiles used in a lattice structure in question must be found. It might be necessary to guess dimensions first and correct them later in the design process. When profiles are stated, ice accretion dimensions and self-weight must be found.

a) If ice accretion is glaze: use the ICGx and the information in Figure 3. The equation to be used for dimensions not mentioned in Table 3 is equation (A.4). Both outside dimension and self-weight of ice must be found.

Outside iced dimension is the profile dimension + $2t$.

NOTE In principle, the model may be used for big dimensions too (diameter or width greater than 300 mm). Density of ice may be changed, but normally should not be.

b) Обмерзання памороззю: використовуйте дані рис. 4 і табл. 5–7. Рівняннями, які повинні використовуватися для визначення розмірів і густини, не зазначених у табл. 5–7, є рівняння (A.6)–(A.13).

Примітка. Вважається, що відкладення паморозі завжди має крильчасту форму з поздовжньою віссю, спрямованою в навітряний бік. Розміри такого відкладення для опуклих поверхонь (тип А і В), плоских поверхонь (тип С і D) та увігнутих поверхонь (тип Е і F) не мають значних розбіжностей. Для кількості відкладення найбільше значення мають розміри профілю.

E.3.2 Розміри негратчастих конструкцій або великого профілю

Якщо ширина негратчастих конструкцій або профілю перевищує 300 мм, використовується модель обмерзання памороззю, див. рис. 5.

a) Обмерзання ожеледдю: див. вище.
b) Обмерзання памороззю: використовуйте дані рис. 5 і табл. 8 та табл. 9. Рівняннями, які повинні використовуватися для визначення маси і щільності відкладень, не зазначених у табл. 8 і 9, є рівняння (A.14) і (A.15).

Примітка. Функцією ICR_x є лише довжина крижаного наросту крильчатої

b) If ice accretion is rime: use the information in Figure 4 and Tables 5 to 7. The equations to be used for dimensions and density not mentioned in Tables 5 to 7 are equations (A.6) to (A.13).

NOTE Rime ice is always presumed to be of vane shape with the length axis pointing windwards. The ice vane dimensions for convex surfaces (type A and B), flat surfaces (type C and D) and concave surfaces (type E and F) do not differ very much. Profile dimensions are most important for the amount of ice accretion.

E.3.2 Non-lattice structures or large profile dimensions

In the case of non-lattice structure or profile dimensions larger than 300 mm width, use the ice accretion model for rime changes, see Figure 5.

a) If ice accretion is glaze: see above.
b) If ice accretion is rime: use the information in Figure 5 and Tables 8 and 9. The equations to be used for ice masses and density not been mentioned in Tables 8 and 9 are equations (A.14) and (A.15).

NOTE The length of an ice vane is now a function of ICR_x only and not object

форми, а не розміри об'єкта. При цьому маса ожеледних відкладень змінюється з розмірами об'єкта. Об'єкт має майже округлу або плоску форму.

Тепер з'ясовано всі необхідні дані для розрахунку власної ваги й вітрового навантаження.

Е.4 Визначення коефіцієнтів опору для відповідних обледенілих елементів

а) Обмерзання ожеледдю: використовуйте ICG_x та дані табл. 10 для стрижнів, а також табл. 11–15 для великих об'єктів (ширина >300 мм). Рівняннями, які мають використовуватися для визначення розмірів і коефіцієнтів опору без обледеніння, не зазначених у таблиці 10, є рівняння (A.16), а також рівняння (A.17) для табл. 11–15.

б) Обмерзання паморозцю: використовуйте ICG_x і дані табл. 16 для стрижнів, а також табл. 17–25 для великих об'єктів (ширина >300 мм).

Національне пояснення:

Відповідно до Е.2 цього стандарту Льодовий клас для паморозі виражається як ICR_x . Тому позначення ICG_x в даному реченні вважати помилковим.

dimension. Instead ice mass varies with object dimension. Object shape is nearly round or flat.

Now all the necessary data for the calculation of self-weight and wind action have been found.

E.4 Find drag coefficients for iced members in question

a) If ice accretion is glaze: use the ICG_x and the information in Table 10 for bars and Tables 11 to 15 for large objects (width > 300 mm). The equations to be used for dimensions and drag coefficients without ice not mentioned in Table 10 are equation (A.16) and in Tables 11 to 15 equation (A.17).

b) If ice accretion is rime: use the ICG_x and the information in Table 16 for bars and Tables 17 to 25 for large objects (width >300 mm).

Рівняннями, які мають використовуватися для визначення розмірів і коефіцієнтів опору без обледеніння, не зазначених у табл. 16, є рівняння (A.18) і рівняння (A.19) для табл. 17–25.

Примітка. Коефіцієнти опору для обледенілих елементів повинні використовуватися для розмірів із ожеледним відкладенням. Коефіцієнти опору повинні використовуватися перпендикулярно площині, на якій знаходиться поздовжня вісь крижаного наросту крильчатої форми.

E.5 Коригування коефіцієнтів опору для кута падіння

Для похилих елементів або стрижнів вітрове навантаження дозволяється зменшити:

– вітрову дію на похилі елементи може бути знижено, як показано на рис. 7.

Примітка. Вітрові дії прямо пропорційні, наприклад, до коефіцієнтів опору. Тому зменшення коефіцієнтів опору призводить до зниження вітрових дій. Можливо, найкращим способом розрахунку даних параметрів є використання комп'ютерних програм.

E.6 Розрахунок вітрової дії на обледенілу конструкцію

Тепер у розпорядженні є вся інформація, необхідна для розрахунку вітрових впливів:

The equation to be used for dimensions and drag coefficients without ice not mentioned in Table 16 is equation (A.18) and for Tables 17 to 25 equation (A.19).

NOTE Drag coefficients for iced members should be used on the iced dimensions. Drag coefficients are intended to be used perpendicular to the plane in which the ice vane length axis is situated.

E.5 Adjustment of drag coefficients for angle of incidence

In the case of sloping elements or bars, it is allowed to reduce wind load on these elements:

– wind action on a sloping element may be reduced as shown on Figure 7.

NOTE Wind actions are directly proportional to for example drag coefficients. Therefore reducing drag coefficients results in a decrease of wind actions. It might be a proper way to calculate the effect when using for example computer programs.

E.6 Calculation of wind action on the iced structure

Now all information for calculating wind actions on the structure is available.

а) Як правило, вітрове навантаження розраховують так, ніби обледеніння немає, але використовують при цьому розміри та коефіцієнти опору для обледенілих елементів. Найпростіший спосіб розрахунку – це врахування всіх ожеледних відкладень крильчатої форми, розташованих перпендикулярно до напрямку вітру.

б) Однак даний метод може дати результати з великим «запасом»; якщо відомо напрямок обледеніння, дозволяється використовувати цю інформацію і напрямок «намерзання» відкладень крильчатої форми, незалежно від напрямку вітру. У цьому випадку необхідно дослідити напрямок вітру, перпендикулярний напрямку ожеледного відкладення крильчатої форми.

Примітка. Існує багато різних моделей розрахунку вітрових дій, що впливають на конструкцію. У багатьох країнах є власні, стандартизовані методи такого розрахунку; допускається використання таких методів. Однак, незалежно від застосовуваних методів розрахунку, розміри окремого елемента повинні використовуватися як вхідні параметри, щоб їх можна було адаптувати до умов обледеніння. Якщо стандартна модель не дозволяє зробити це, необхідно застосовувати більш деталізовані моделі.

а) Calculate wind action in principle as if there were no ice, but use iced dimensions and drag coefficients for iced members. The easy way to calculate is to consider all ice vanes situated perpendicular to the wind direction investigated.

б) However, this method might give results much «on the safe side», and if icing direction is known, it is allowed to use this information and «freeze» vane direction independently of the wind direction to be investigated. If doing so however, the wind direction perpendicular to the ice vane direction must be investigated.

NOTE There are many different models for calculating wind actions on a structure. Most countries have their own standardized way to do this, and such models may be used. However, no matter which model is used, it is necessary that the dimensions of a single member are used as input parameters in order to allow these to be adjusted for ice accretion. If the standard model does not allow this, a more detailed model should be used.

Е.7 Розрахунок ожеледного навантаження на обледенілу конструкцію

Тепер наявною є вся інформація, необхідна для розрахунку ожеледних навантажень на конструкції.

Розрахунок ожеледного навантаження (додаткової власної ваги льоду) проведіть як загальну суму мас ожеледних відкладень, визначених як маса на метр довжини елемента.

Примітка. Допускається зменшення ваги ожеледних відкладень в точках нахльостування на стиках елементів. Для ґратчастих конструкцій ця кількість льоду може виявитися значною.

Е.8 Комбінація вітрових і ожеледних навантажень

Розрахунки не слід проводити як комбінування вітрової дії в повному обсязі з повним ожеледним навантаженням.

Комбінувати можна вітрове навантаження з 50-річним періодом повторюваності й ожеледне навантаження з 3-річним періодом повторюваності та навпаки.

Примітка. У табл. 26 наведено можливі комбінації, а в табл. 27 – зменшення вітрового навантаження як функції льодових класів (IC).

E.7 Calculation of ice load of the iced structure

Also all information for calculating ice loads of the structure is available.

Calculate the ice load (the additional self-weight of ice) as the total sum of ice masses found as mass per metre times the length of the member.

NOTE Reduction of ice weight from overlaps in joints of members is allowed. In a lattice structure this can amount to a considerable amount of ice.

E.8 Combination of wind action and ice load

Calculation should not be carried out by combining the full wind action with the full ice load.

Combine the reduced 50-year wind action with the 3-year ice load and the opposite.

NOTE See Table 26 for combinations and Table 27 for reduction of wind action as a function of ICs.

БІБЛІОГРАФІЯ

- [1] ADMIRAT, P., FILY, M. and GONCOURT, B. de. Calibration of a wet snow model with 13 natural cases from Japan. Technical Note, Électricité de France, Service national électrique, 1986, 59 pp. (Стандартизація моделі налипання мокрого снігу з 13 природними прикладами з Японії)
- [2] АНТИ, К. and МАККОНЕН, Л. Observations on rime formation in relation to routinely measured meteorological parameters. *Geophysica*, 1982, 19 (1), pp. 75–85. (Спостереження за утворенням паморозі відносно поточних вимірюваних метеорологічних параметрів)
- [3] ELIASSON, A.J. and THORSTEINS, E. Wet snow icing combined with strong wind. 7th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures, Proceedings, 1996, pp. 131–136. (Обледеніння внаслідок мокрого снігу з сильним вітром)
- [4] FINSTAD, K.J. and МАККОНЕН, Л. Improved numerical model for wind turbine icing. 7th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures, Proceedings, 1996, pp. 373–378. (Вдосконалена числова модель обледеніння вітряної турбіни)
- [5] FINSTAD, K.J., LOZOWSKI, E.P. and GATES, E.M. A computational investigation of water droplet trajectories. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 1988, 5, pp. 160–170. (Розрахункові дослідження траєкторій водяних крапель)
- [6] FINSTAD, K.J., LOZOWSKI, E.P. and МАККОНЕН, Л. On the median volume diameter approximation for droplet collision efficiency. *J. Atmos. Sci.*, 1988, 45, pp. 4008–4012. (Апроксимація середнього об'ємного діаметра для вивчення ефективності зіткнення крапель)
- [7] GATES, E.M., NARTEN, R., LOZOWSKI, E.P. and МАККОНЕН, Л. Marine icing and spongy ice. Proc. Eight IAHR Symposium on Ice, Iowa City, USA, 1986, II, pp. 153–163. (Морське обледеніння і рихлий лід)
- [8] Кошенко А.М. и Башкирова Л. Рекомендации по прогнозированию осадков и отложения (налипания) мокрого снега. Труды УкрНИГМИ, 1979, 176, стр. 96–102 (Рекомендації щодо прогнозування опадів та відкладень (налипання) мокрого снігу)

BIBLIOGRAPHY

- [1] ADMIRAT, P., FILY, M. and GONCOURT, B. de. *Calibration of a wet snow model with 13 natural cases from Japan*. Technical Note, Électricité de France, Service national électrique, 1986, 59 pp.
- [2] АНТИ, К. and МАККОНЕН, Л. Observations on rime formation in relation to routinely measured meteorological parameters. *Geophysica*, 1982, 19 (1), pp. 75-85
- [3] ELIASSON, A.J. and THORSTEINS, E. Wet snow icing combined with strong wind. *7th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures, Proceedings*, 1996, pp. 131-136
- [4] FINSTAD, K.J. and МАККОНЕН, Л. Improved numerical model for wind turbine icing. *7th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures, Proceedings*, 1996, pp. 373-378
- [5] FINSTAD, K.J., LOZOWSKI, E.P. and GATES, E.M. A computational investigation of water droplet trajectories. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 1988, 5, pp. 160-170
- [6] FINSTAD, K.J., LOZOWSKI, E.P. and МАККОНЕН, Л. On the median volume diameter approximation for droplet collision efficiency. *J. Atmos. Sci.*, 1988, 45, pp. 4008-4012
- [7] GATES, E.M., NARTEN, R., LOZOWSKI, E.P. and МАККОНЕН, Л. Marine icing and spongy ice. *Proc. Eight IAHR Symposium on Ice, Iowa City, USA*, 1986, II, pp. 153-163
- [8] KOSHENKO, A.M. and BASHKIROVA, L. Recommendations on forecasting the precipitation and deposition (sticking) of wet snow. *Trudy UkrNIGMI*, 1979, 176, pp. 96-102 (in Russian)

- [9] LANGMUIR, L. and BLODGETT, K.B. A mathematical investigation of water droplet trajectories. Tech. Rep. 54118, USAAF, 1946, 65 pp. (Математичне дослідження траєкторій водяних крапель)
- [10] LIST, R. Ice accretion on structures, *J. Glaciol.*, 1977, 19, pp. 451–465. (Обледеніння конструкцій)
- [11] LOZOWSKI, E.P., STALLABRASS J.R. and HEARTY, P.F. The icing of an unheated, non rotating cylinder. Part I: A simulation model. *J. Climate Appl. Meteor.*, 1983, 22, pp. 2053–2062. (Обледеніння циліндра, що не підігривається та не обертається. Частина I: Імітаційна модель)
- [12] MACKLIN, W.C. The density and structure of ice formed by accretion. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1962, 88, pp. 30–50. (Щільність і структура льоду, утвореного під час обледеніння)
- [13] MAENO, N., MAKKONEN, L., NISHIMURA, K., KOSUGI, K. and TAKAHASHI, T. Growth rate of icicles. *J. Glaciol.*, 1994, 40, pp. 319–326. (Інтенсивність утворення бурульок)
- [14] MAKKONEN, L. Estimating intensity of atmospheric ice accretion on stationary structures. *J. Appl. Meteor.*, 1981, 20, pp. 595–600. (Оцінка інтенсивності атмосферного обледеніння стаціонарних конструкцій)
- [15] MAKKONEN, L. Atmospheric Icing on Sea Structures. U.S. Army CRREL Monograph 84 – 2, 1984, 102, pp. 26–27. (Атмосферне обледеніння морських конструкцій)
- [16] MAKKONEN, L. Modelling of ice accretion on wires. *J. Climate Appl. Meteor.*, 1984, 23, pp. 929–939. (Моделювання обледеніння на дротах)
- [17] MAKKONEN, L. Heat transfer and icing of a rough cylinder. *Cold Regions Sci. Technol.*, 1985, 10, pp. 105–116. (Теплопередача і обледеніння шорсткого циліндра)
- [18] MAKKONEN, L. Salinity and growth rate of ice formed by sea spray. *Cold Regions Sci. Technol.*, 1987, 14, pp. 163–171. (Солоність та інтенсивність морського бризкового обледеніння)
- [19] MAKKONEN, L. A model of icicle growth. *J. Glaciol.*, 1988, 34, pp. 64–70. (Модель наростання бурульок)
- [9] LANGMUIR, L. and BLODGETT, K.B. *A mathematical investigation of water droplet trajectories*. Tech. Rep. 54118, USAAF, 1946, 65 pp.
- [10] LIST, R. Ice accretion on structures, *J. Glaciol.*, 1977, 19, pp. 451-465
- [11] LOZOWSKI, E.P., STALLABRASS J.R. and HEARTY, P.F. The icing of an unheated, non rotating cylinder. Part I: A simulation model. *J. Climate Appl. Meteor.*, 1983, 22, pp. 2053-2062
- [12] MACKLIN, W.C. The density and structure of ice formed by accretion. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1962, 88, pp. 30-50
- [13] MAENO, N., MAKKONEN, L., NISHIMURA, K., KOSUGI, K. and TAKAHASHI, T. Growth rate of icicles. *J. Glaciol.*, 1994, 40, pp. 319-326
- [14] MAKKONEN, L. Estimating intensity of atmospheric ice accretion on stationary structures. *J. Appl. Meteor.*, 1981, 20, pp. 595-600
- [15] MAKKONEN, L. *Atmospheric Icing on Sea Structures*. U.S. Army CRREL Monograph 84 – 2, 1984, 102, pp. 26-27
- [16] MAKKONEN, L. Modelling of ice accretion on wires. *J. Climate Appl. Meteor.*, 1984, 23, pp. 929-939
- [17] MAKKONEN, L. Heat transfer and icing of a rough cylinder. *Cold Regions Sci. Technol.*, 1985, 10, pp. 105-116
- [18] MAKKONEN, L. Salinity and growth rate of ice formed by sea spray. *Cold Regions Sci. Technol.*, 1987, 14, pp. 163-171
- [19] MAKKONEN, L. A model of icicle growth. *J. Glaciol.*, 1988, 34, pp. 64-70

- [20] МАККОНЕН, L. Estimation of wet snow accretion on structures. *Cold Regions Science and Technology*, 1988, 17, pp. 83–88. (Оцінка налипання мокрого снігу на конструкціях)
- [21] МАККОНЕН, L. Modelling power line icing in freezing precipitation. *Atmospheric Research*, 1998, 46, pp. 131–142. (Моделювання обледеніння ліній електропередач під впливом переохолоджених опадів)
- [22] МАККОНЕН, L. and Ahti, K. Climatic mapping of ice loads based on airport weather observations. *Atmospheric Research*, 1995, 36 (3–4), pp. 185–193. (Кліматичне картографування ожеледних навантажень на підставі даних, отриманих від метеостанцій аеропортів)
- [23] МАККОНЕН, L. and STALLABRASS, J.R. Ice accretion on cylinders and wires. National Research Council of Canada, NCR, Tech. Report. TR-LT-005, 1984, 50 pp. (Обледеніння циліндрів і дротів)
- [24] МАККОНЕН, L. and STALLABRASS, J.R. Experiments on the cloud droplet collision efficiency of cylinders. *J. Climate Appl. Meteor.*, 1987, 26, pp. 1406–1411. (Експерименти, спрямовані на вивчення ефективності зіткнення хмарних крапель у циліндрах)
- [25] МАККОНЕН, L. and OLESKIW, M. Small-scale experiments on rime icing. *Cold Regions Sci. Technol.*, 1996, 25, pp. 173–182. (Дрібномасштабні експерименти щодо паморозевого обледеніння)
- [26] PERSONNE, P. and GAYET, J.-F. Ice accretion on wires and anti-icing included by the Joule effect. *J. Appl. Meteor.*, 1988, 27, pp. 101–114 (Обледеніння дротів та антиобледеніння за рахунок ефекту Джоуля)
- [27] SHIN, J., BERKOWITZ, B., CHEN, H.H. and CEBECI, T. Prediction of ice shapes and their effect on airfoil drag. *J. Aircraft*, 1994, 31, pp. 263–270. (Прогнозування форм ожеледних відкладень і їх впливу на аеродинамічний опір)
- [28] SUNDIN, E. and МАККОНЕН, L. Estimation of ice loads on a lattice tower by weather station data. *Journal of Applied Meteorology*, 1998, 37 (5), pp. 523–529. (Оцінка ожеледних навантажень на ґратчасті щогли з використанням даних метеостанцій)
- [20] МАККОНЕН, L. Estimation of wet snow accretion on structures. *Cold Regions Science and Technology*, 1988, 17, pp. 83–88
- [21] МАККОНЕН, L. Modelling power line icing in freezing precipitation. *Atmospheric Research*, 1998, 46, pp. 131–142
- [22] МАККОНЕН, L. and Ahti, K. Climatic mapping of ice loads based on airport weather observations. *Atmospheric Research*, 1995, 36 (3–4), pp. 185–193
- [23] МАККОНЕН, L. and STALLABRASS, J.R. *Ice accretion on cylinders and wires*. National Research Council of Canada, NCR, Tech. Report. TR-LT-005, 1984, 50 pp.
- [24] МАККОНЕН, L. and STALLABRASS, J.R. Experiments on the cloud droplet collision efficiency of cylinders. *J. Climate Appl. Meteor.*, 1987, 26, pp. 1406–1411
- [25] МАККОНЕН, L. and OLESKIW, M. Small-scale experiments on rime icing. *Cold Regions Sci. Technol.*, 1996, 25, pp. 173–182
- [26] PERSONNE, P. and GAYET, J.-F. Ice accretion on wires and anti-icing included by the Joule effect. *J. Appl. Meteor.*, 1988, 27, pp. 101–114
- [27] SHIN, J., BERKOWITZ, B., CHEN, H.H. and CEBECI, T. Prediction of ice shapes and their effect on airfoil drag. *J. Aircraft*, 1994, 31, pp. 263–270
- [28] SUNDIN, E. and МАККОНЕН, L. Estimation of ice loads on a lattice tower by weather station data. *Journal of Applied Meteorology*, 1998, 37 (5), pp. 523–529

[29] SZILDER, K. and LOZOWSKI, E.P. A new method of modelling ice accretion on objects of complex geometry, *Int. J. Offshore Polar. Engin.*, 1995, 5, pp. 37–42. (Новий метод моделювання обледеніння об'єктів складної геометрії)

[30] SZILDER, K. and LOZOWSKI, E.P. Three-dimensional modelling of ice accretion microstructure. 7th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures, *Proceedings*. 1996, pp. 60–63. (Тривимірне моделювання мікроструктур обледеніння)

[31] SZILDER, K., LOZOWSKI, E.P. and GATES, E.M. Modelling ice accretion on non rotating cylinders: the incorporation of time dependence and internal heat conduction. *Cold Regions Sci. Technol.*, 1987, 13, pp. 177–191. (Моделювання обледеніння на циліндрах, що не обертаються: впровадження тимчасової залежності і внутрішньої теплопровідності)

[29] SZILDER, K. and LOZOWSKI, E.P. A new method of modelling ice accretion on objects of complex geometry, *Int. J. Offshore Polar. Engin.*, 1995, 5, pp. 37-42

[30] SZILDER, K. and LOZOWSKI, E.P. Three-dimensional modelling of ice accretion microstructure. 7th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures, *Proceedings*. 1996, pp. 60-63

[31] SZILDER, K., LOZOWSKI, E.P. and GATES, E.M. Modelling ice accretion on non rotating cylinders: the incorporation of time dependence and internal heat conduction. *Cold Regions Sci. Technol.*, 1987, 13, pp. 177-191

Ключові слова: вітрові навантаження, льодові класи, обледеніння, ожеледь, ожеледі навантаження, паморозь.

Генеральний директор, д.т.н., проф.

О.В. Шимановський

Заступник генерального директора
з наукової роботи, д.т.н., проф.

В.М. Гордєєв

Заступник голови ТК 301 «Металобудівництво»
Заступник генерального директора з науково-технічної
політики ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського»

В.П. Адріанов

Завідувач НДВТР, науковий керівник

О.І. Кордун

Провідний фахівець з лінгвістичного забезпечення

В.П. Гаврилова

Провідний інженер

В.С. Артющенко

Інженер I-ої категорії

А.А. Глінка