

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НОРМ ОЖЕЛЕДНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

У роботі проаналізовано нормування ожеледно-вітрових навантажень в українському ДБН В.1.2-2:2006, європейському ISO12494:2001, американському ASCE 7-05.

Ключові слова: ожеледно-вітрове навантаження, ожеледь, обледеніння, крига, вітер.

В статье анализируется нормирование гололёдно-ветровых нагрузок в украинском ДБН В.1.2-2:2006, европейском ISO 12494:2001 и американском ASCE 7-05.

Ключевые слова: гололёдно-ветровые нагрузки, обледенение, лёд, ветер.

The analysis of ice loads and wind actions on ice structures in Ukrainian National Building Standards V.1.2-2:2006, European ISO 12494:2001, American ASCE 7-05 is given in the article.

Key words: ice loads, wind actions on ice structures, icing, wind.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Зусилля в чутливих до атмосферного обледеніння елементах конструкцій можуть значно збільшуватись унаслідок ожеледного навантаження, що викликає деформації, пошкодження і навіть аварії конструкцій. Протягом останніх років в Україні неодноразово траплялися такі аварії, зокрема на електромережних спорудах, що призводило до серйозних економічних збитків. Тому залишається актуальною проблема надійного оцінювання ожеледних навантажень та вдосконалення розрахунку конструкцій на ці навантаження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У різних країнах розроблені власні норми ожеледних навантажень [1 – 4]. Підґрунтям таких норм є багаторічні спостереження та дослідження кліматологів [5]. В останні роки ці небезпечні навантаження привертають увагу дослідників України, які працюють, зокрема, в ПолтНТУ [6], ДУ «Львівська політехніка» [7], ДонНАБА [8]. Розгорнутий опис ожеледного навантаження наведений у колективній монографії українських авторів [9].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Однак негативний досвід аварій і пошкоджень конструкцій від ожеледних навантажень свідчить про те, що процес обледеніння і вплив наростання криги на конструкції ще недостатньо вивчені. У зв'язку із цим корисним є вивчення закордонного досвіду нормування ожеледно-вітрових навантажень за нормативними документами різних країн світу.

Метою роботи є порівняльний аналіз методик розрахунку ожеледно-вітрового навантаження за нормами України ДБН В.1.2-2:2006 [1], європейським стандартом ISO 12494:2001 [2], нормами США ASCE 7-05 [3].

Виклад основного матеріалу досліджень. Ожеледно-вітрове навантаження є наслідком впливу вітру та власної ваги криги на конструкції, покриті ожеледдю. Найбільший вплив воно має на щогли, антени, башти, повітряні лінії зв'язку тощо (рис.1). Саме на них поширюється застосування таких нормативних документів, як ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» (далі ДБН), ISO 12494:2001 Atmospheric icing of structures («Атмосферне обледеніння конструкцій», далі ISO), ASCE 7-05 Minimum

Design Loads for Buildings and Other Structures («Мінімальні розрахункові навантаження на будівлі й інші конструкції», далі ASCE).



Рисунок 1 – Характерні ожеледні відкладення на будівельних конструкціях

Перш за все ці стандарти відрізняються за об'ємом поданої інформації. ДБН, складений аналогічно нормам СНиП Радянського Союзу [4], приділяє їм лише розділ, описуючи різні види навантажень (див. блок-схему рис. 2). ISO повністю присвячений ожеледно-вітровим навантаженням, у той час як ASCE містить тільки одну главу і коментарі. ДБН класифікує ожеледно-вітрове навантаження як епізодичне, для кожної складової якого встановлено граничні розрахункові значення. ISO та ASCE не містять подібної інформації.

Для визначення дії криги на конструкції необхідно мати розміри ожеледі та її масу. Міжнародний стандарт [2] пропонує поділити ожеледь на типи і класи (IC), за якими встановлюють її товщину і масу. Національні норми [1] радять визначати розміри за таблицею чи картою, а потім обраховувати вагу криги. При цьому для гірських районів необхідно приймати дані щодо товщини ожеледі та вітровий тиск при ожеледі на основі спеціальних спостережень. Американські норми [3] дозволяють брати значення розмірів криги з карти, але в них теж допускається можливість визначення розмірів криги і встановлення швидкості супутнього вітру для особливих регіонів за місцевими метеорологічними даними з урахуванням низки вимог і з дозволу уповноважених органів. Ці розміри застосовують для знаходження за формулою розрахункової товщини криги, яка і буде використовуватись при обчисленні її ваги.

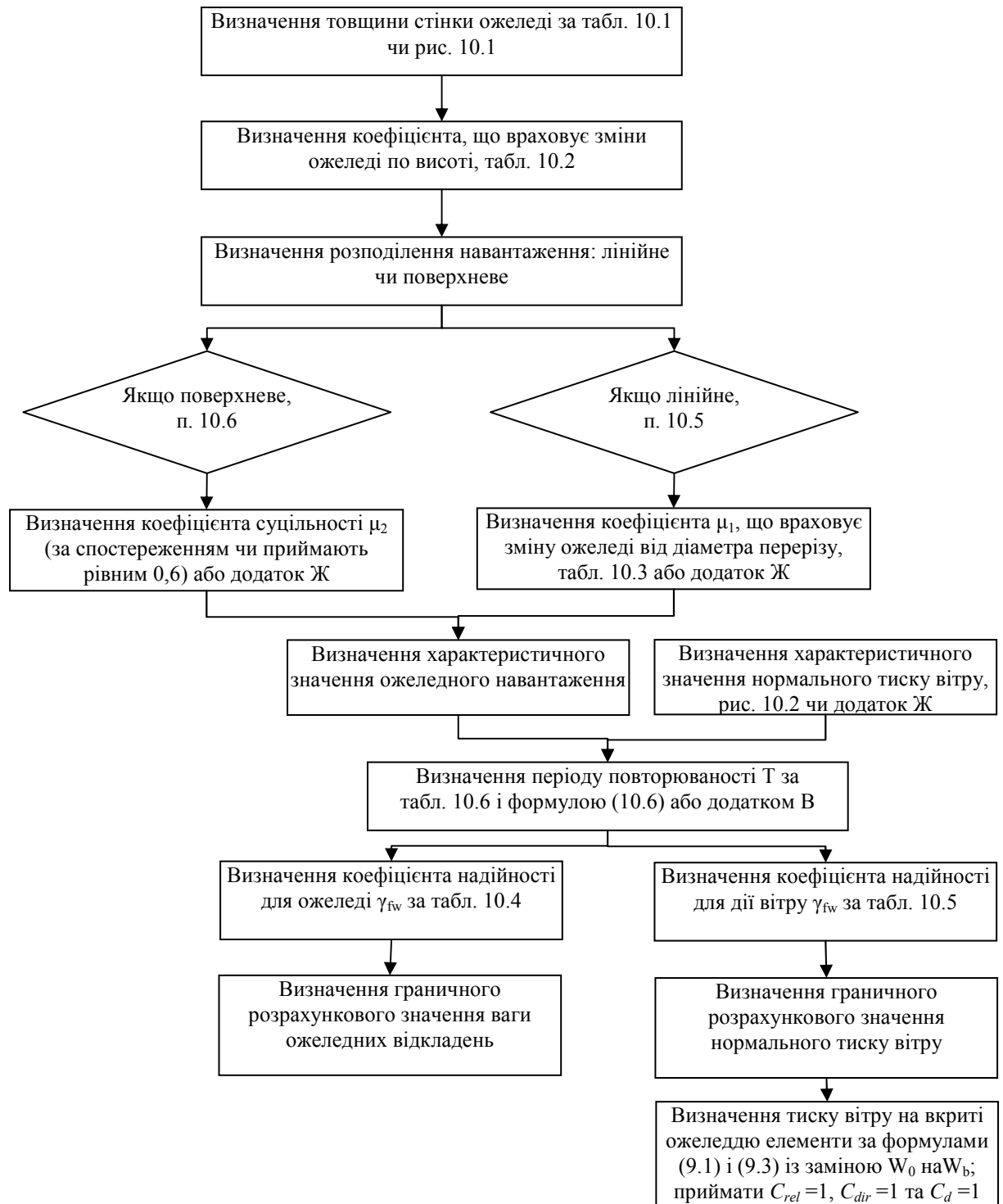


Рисунок 2 – Блок-схема методики розрахунку згідно з ДБН В.1.2-2:2006

ISO характеризує два процеси виникнення ожеледі на конструкціях: опадове і внутрішньошмарне обледеніння. За ними і температурою повітря вказані типи ожеледі (крижаний покрив, твердий наліт криги, м'який наліт криги і мокрий сніг) і виділено класи криги (наліт криги і крижаний покрив). У ДБН не оцінені процеси виникнення ожеледі й не показаний їх вплив на розрахунок, але для гірських районів залежно від їх висоти подані температури повітря при ожеледі. В ASCE описані процеси обледеніння внаслідок випадання снігу, переохолодженого дощу, утворення інею і внутрішньошмарного обмерзання, але всі розрахунки подані лише для криги, що виникла в результаті випадання переохолодженого дощу. Навантаження, які виникли внаслідок утворення інею, не розглядається при проектуванні, а

утворення криги через внутрішньохмарне обмерзання і сніг досліджується тоді, коли вони спричиняють обледеніння більших розмірів, ніж через переохолоджений дощ. У коментарях також указана можливість різних наростань криги залежно від температури. В ISO і в ASCE зазначено також вплив вологості на процеси формування криги.

Як Міжнародний стандарт, так і Національні норми беруть до уваги розміри конструкції. ISO розділяє їх на малі (до 300 мм) і великі (більше 300 мм, не обмежений). У ДБН розміри перерізу враховуються коефіцієнтами μ_1 (для діаметрів до 70 мм) і μ_2 (відношення обледенілої площі до повної площі), які визначаються за додатком Ж або приймаються: μ_1 – за табл. 10.3, а μ_2 – рівним 0,6 чи за спостереженнями. В ASCE немає розподілу за розміром об'єкта, вкритого кригою, але у коментарях зауважено, що залежно від нього обледеніння буде різним.

Міжнародний стандарт приділяє багато уваги властивостям криги (див. блок-схему рис. 4). В ISO вона має різну густину відповідно до свого класу, в той час як у Національних нормах густина криги є константою і рівна 0,9 кг/м³, а в Американських нормах зауважено, що густина має бути не меншою ніж 0,9 кг/м³, хоча в коментарях указані густини криги залежно від типу ожеледі.

За ДБН за висотою над поверхнею землі можна встановити товщину стінки ожеледі й коефіцієнт k за таблицями. Крім того, зазначено необхідність множити на 1,5 діаметр обледенілих тросів і проводів з урахуванням стінки ожеледі, визначеної за табл. 10.1, ожеледно-вітрових районів 1 – 3 (рис. 10.1 та додаток Е) при визначенні вітрових навантажень для елементів, розташованих на висоті понад 100 м. В ISO висота над поверхнею землі враховується коефіцієнтом k , який знаходиться за графіком або в результаті безпосереднього розрахунку. В ASCE коефіцієнт висоти визначається за формулою для висоти до 275 м і має значення 1,4 для висоти, більшої ніж 275 м.

В ISO запропоновані кілька моделей обледеніння конструкцій, а в окремому додатку описується теоретичне моделювання наростання криги. Обледеніння моделюється за заданою формою, яка залежить від напрямку вітру та кута нахилу до напрямку вітру. ДБН і ASCE не містять моделей обледеніння, але в останньому нормативі детально описаний сам процес обледеніння. При цьому розміри криги, вказані на картах, є еквівалентними радіальними рівномірними товщинами, тобто не враховується дійсна форма відкладень. У коментарях зауважена можливість інших форм наростання.

В ISO вага криги визначається за однією формулою, в ДБН вага криги обчислюється за різними формулами залежно від форми перерізу елемента (площинний чи круговий). В ASCE теж задані різні формули: для конструктивних профілів, призматичних та інших елементів зі схожою формою наведена формула визначення площі, для плоских плит і великих об'ємних об'єктів – формула визначення об'єму. Об'єм дозволяється зменшувати для плит залежно від їхнього положення (вертикальне або горизонтальне) шляхом множення на відповідний коефіцієнт.

Для встановлення класу криги в ISO описано стандартизований метод вимірювання. Товщину і вагу криги вимірюють на циліндрі діаметром 30 мм і довжиною 0,5 м (для сильної ожеледі 1 м) на висоті 10 м над поверхнею землі. ДБН не передбачає безпосередніх вимірювань, але вказано, що вихідні дані отримані з елемента кругового перерізу діаметром 10 мм, розташованого на висоті 10 м над поверхнею землі. В ASCE вимірювання проведені на висоті 10 м для горизонтального циліндра, перпендикулярного до вітру, і підкреслено можливість безпосередніх вимірювань.

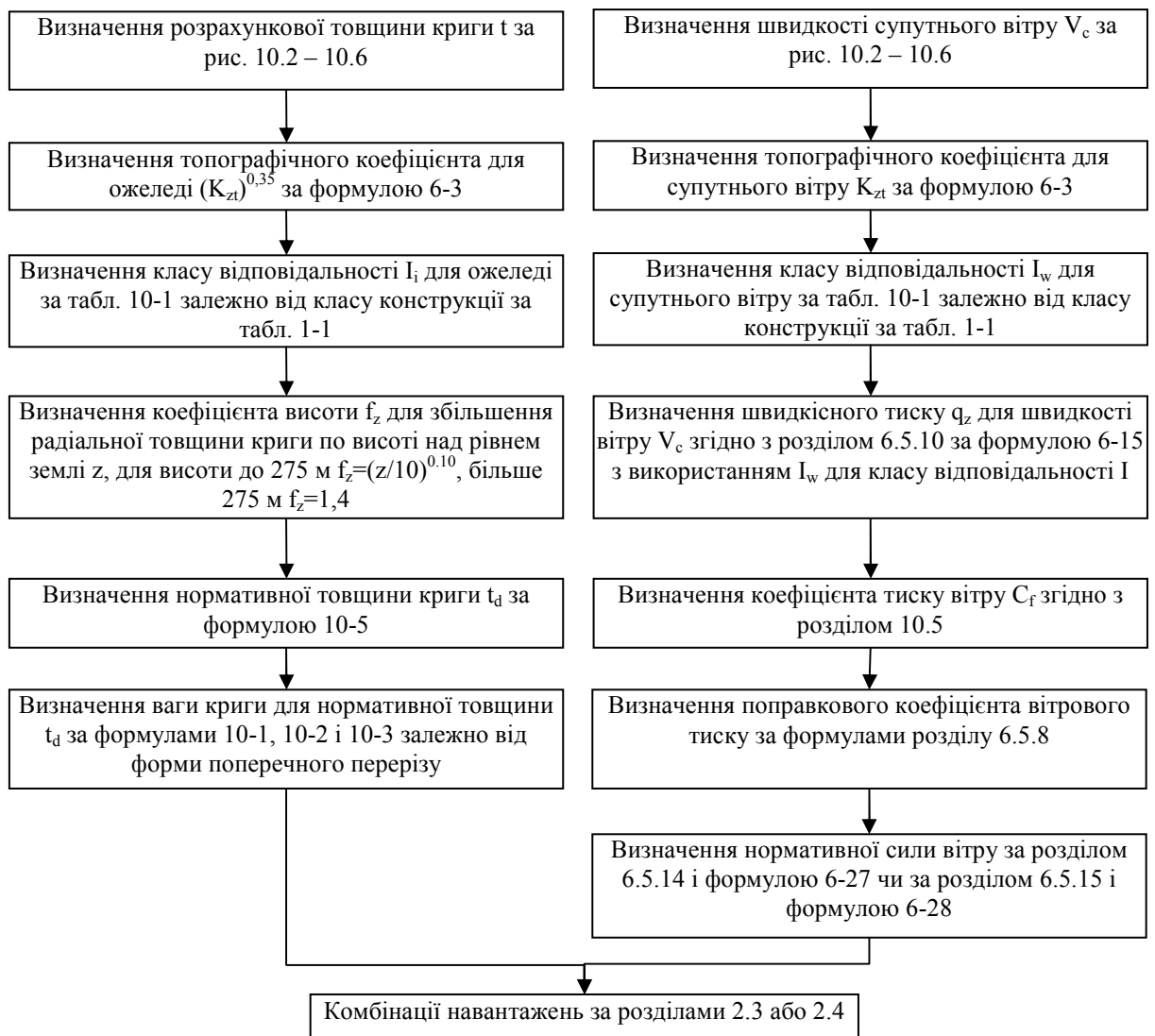


Рисунок 3 – Блок-схема методики розрахунку згідно з ASCE 7-05

В усіх розглянутих нормативах зазначено, що вітрова складова навантаження визначається за звичайними формулами з деякими змінами. В ISO зауважено, що формули за ISO 4355 застосовують з урахуванням розмірів і коефіцієнтів лобового опору конструкції з ожеледдю, які залежать від низки параметрів. ДБН використовує характеристичне значення вітрового тиску при ожеледі та значення коефіцієнтів C_{rel} , C_{dir} та C_d встановлені рівними одиниці. За ASCE збільшується розрахункова площа за рахунок товщини криги, швидкість супутнього вітру береться з карти для 3-секундних поривів вітру, змінені коефіцієнти тиску і коефіцієнти аеродинамічного опору. Коефіцієнти тиску для квадратного, шестикутного, восьмикутного й круглого поперечних перерізів, а також для суцільних конструкцій, вкритих кригою, беруться за відповідними малюнками. Коефіцієнт тиску для вкритих кригою відтяжок і тросів дорівнює 1,2. Для вкритої кригою щогли зв'язку цей коефіцієнт може бути зменшений згідно з приміткою до малюнка, наведеного в стандарті.

Для решітчастих конструкцій за Міжнародним стандартом урахується коефіцієнт суцільності конструкцій у розрахунку вітрового навантаження і навантаження від криги. У Національних нормах коефіцієнт суцільності береться до уваги лише для ожеледі. В ASCE коефіцієнт суцільності визначається за розрахунковою площею з кригою включно і враховується лише у розрахунку вітрового навантаження (див. блок-схему рис. 3).

В ISO звертається увага на вплив рельєфу на обледеніння конструкцій і, як наслідок, товщину стінки ожеледі у вигляді можливості встановлення зон обледеніння, які детально не описуються. У ДБН і ASCE вже вказані зони обледеніння за товщиною стінки ожеледі, але в ASCE вплив рельєфу, крім іншого, відображається топографічним коефіцієнтом, який обчислюють за відповідними формулами.

В ISO йдеться про можливість асиметричного наростання криги через падіння частини криги, різної її товщини по висоті чи виникнення переважаючого напрямку обледеніння і зазначено потребу подальшого його вивчення. В американському стандарті також указана можливість часткового завантаження кригою внаслідок різної товщини криги по висоті та її падіння з деяких елементів, але не дано пояснень розрахунку такого завантаження. ДБН не містить інформації із цього приводу.

Період повторюваності для навантажень за ISO складає 50 років. Тому навантаження від криги може бути використано у розрахунках разом з іншими навантаженнями за допомогою коефіцієнта сполучень. У ДБН і ASCE вказані дані для періоду повторюваності 50 років. Національні норми не містять рекомендацій щодо комбінації вітрового й ожеледного навантаження, але встановлені різні середні періоди повторюваності, що залежать від терміну експлуатації будівлі, який визначається за її видом. У коментарях до американських норм зазначено можливість використання періодів повторюваності від 25 до 1400 років, зауважено, що розрахункові вітрові та відповідні ожеледні навантаження можуть мати період повторюваності в 500 років, що зменшує можливість перевищення значень для 50 років. Також подані коефіцієнти переходу від одного до іншого періоду повторюваності.

За Міжнародним стандартом є два випадки комбінації вітру і криги, що залежать від класу останньої. У комбінаціях використовують одну з величин із періодом повторюваності 50 років сумісно з іншою з періодом повторюваності в 3 роки. В ASCE для розрахунку на міцність і допустимі напруження описано по три види комбінацій криги з іншими навантаженнями. У ДБН зазначено, що при виборі найневигодніших сполучень за пунктом 4.18 за одне змінне навантаження можна приймати ожеледно-вітрове навантаження, причому при визначенні розрахункових сполучень у період зведення будівель чи споруд ці навантаження слід знижувати на 20%.

В ASCE товщина криги (не вага, оскільки вона не є лінійною функцією товщини) й тиск вітру перемножуються на множник, що залежить від класу відповідальності будівлі. В ISO і ДБН немає подібної інформації. Але в ДБН для знаходження розрахункових значень характеристична вага відкладень і нормальний тиск вітру при ожеледі множаться на відповідні коефіцієнти надійності, визначені за середнім періодом повторюваності.

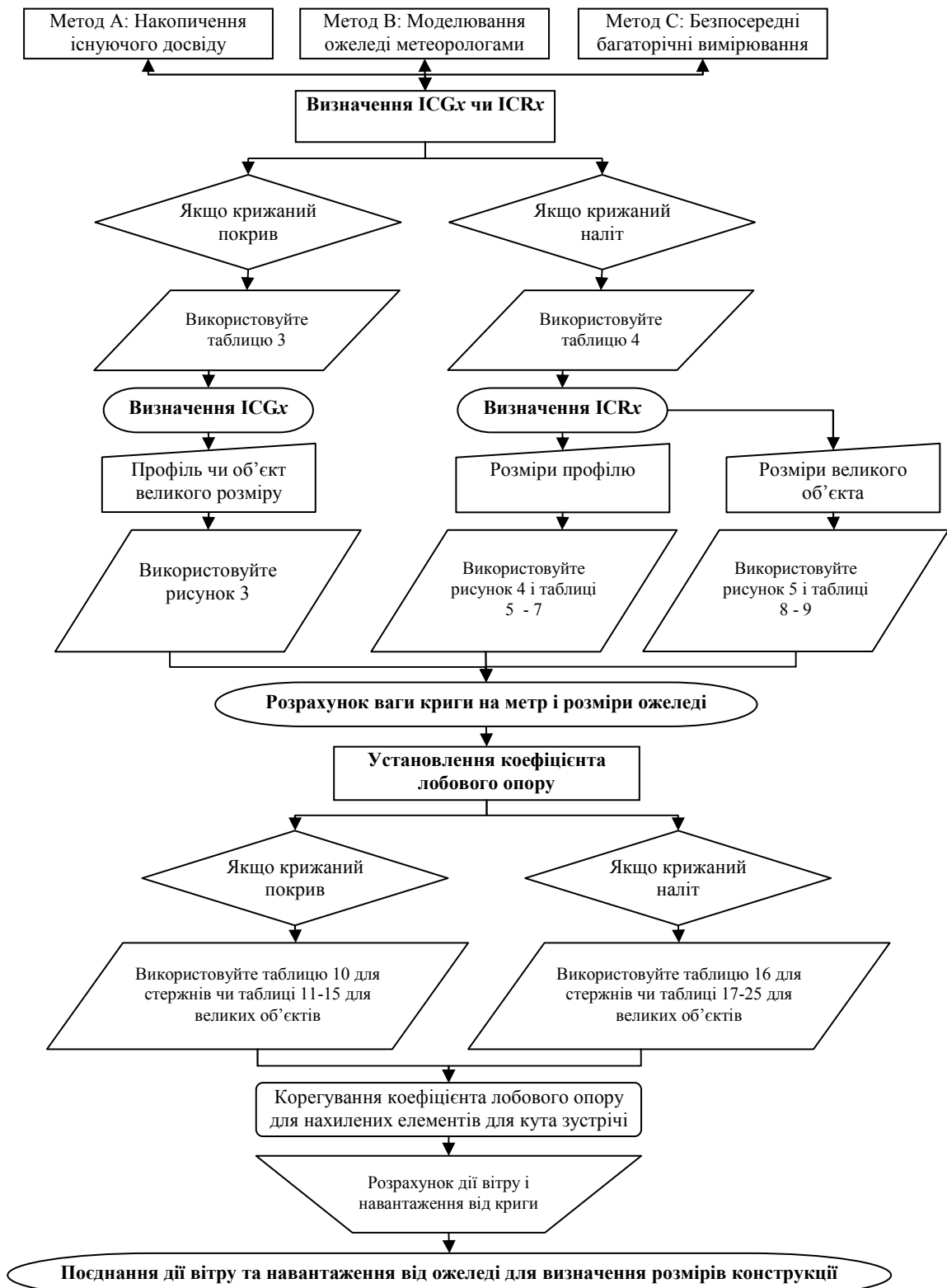


Рисунок 4 – Блок-схема методики розрахунку за ISO 12494:2001

В ISO врахована можливість виникнення динамічних навантажень від криги і пояснюється розрахунок падаючої криги. В американських нормах згадано динамічні навантаження, але не передбачено їх розрахунок. У Національних нормах інформація із цього питання відсутня.

Висновки. Методики розрахунку ожеледних навантажень за ДБН, ISO і ASCE в цілому подібні, але відрізняються знаходженням розмірів, маси криги та розрахункових коефіцієнтів. Міжнародний стандарт [2] приділяє

значно більше уваги впливу навколишнього середовища на обледеніння та передбачає більше видів навантаження від криги і їх комбінації з вітровим навантаженням. У ДБН [1] чітко вказаний спосіб розрахунку, в той час як ISO дозволяє проєктантам вирішувати, які коефіцієнти використовувати у розрахунках. Стандарт ASCE [3] теж дає чітку методику розрахунку, але вона більш деталізована порівняно з ДБН, і в ньому зауважено можливість подальших досліджень та вдосконалень. Деякі питання (як, наприклад, асиметричне чи динамічне навантаження від криги) недостатньо розкриті в усіх розглянутих нормативних документах.

Література

1. ДБН В.1.2-2:2006. *Навантаження і впливи*. – К.: Мінбуд України, 2006. – 60 с.
2. ISO 12494:2001 *Atmospheric icing of structures*.
3. ASCE 7-05 *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.
4. СНиП 2.01.07-85. *Нагрузки и воздействия* / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 36 с.
5. Заварина М.В. *Строительная климатология* / М.В. Заварина. – М.: Гидрометеоиздат, 1976. – 312 с.
6. Пашинський В.А. *Атмосферні навантаження на будівельні конструкції* / В.А. Пашинський. – К.: Вид-во УкрНДІПСК, 1999. – 185 с.
7. Кінаш Р.І. *Стихійні гідрометеорологічні явища в Україні* / Р.І. Кінаш, О.М. Бурнаєв. – Львів: Вид-во наук.-техн. літ., 2000. – 192 с.
8. *Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи* / Е.В. Горохов, М.И. Казакевич, С.В. Турбин, Я.В. Назим и др.; под ред. Е.В. Горохова. – Донецк, 2005. – 348 с.
9. *Нагрузки и воздействия на здания и сооружения* / В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лященко, В.А. Пашинский, А.В. Перельмутер, С.Ф. Пичугин; под общей редакцией А.В. Перельмутера. – М.: Изд-во Асс. стр. вузов, 2006. – 482 с.

Надійшла до редакції 14.04. 2010

© С.Ф. Пичугін, М.К. Павельєва