

МОЖЛИВОСТІ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ СНІГОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Пашинський В.А., д.т.н., професор,
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький
pva.kntu@gmail.com

Юрченко О.І.
Кіровоградський обласний центр з гідрометеорології, м. Кропивницький

Анотація. За результатами аналізу 67-річних рядів спостережень за сніговим покривом підтверджена періодичність змін снігового навантаження в часі та запропонована методика короткострокового прогнозування величини снігового навантаження за результатами спостережень минулих років. Результати вказують на можливість зменшення розрахункових значень снігового навантаження в періоди малосніжних зим в середньому на 15%, а в окремих випадках – до 40%. Реальний прогноз при забезпеченості 0,95 можна виконати на період 1...3 роки. За результатами розрахунків у певних випадках можна дозволити експлуатацію несучих конструкцій до їх підсилення чи заміни.

Ключові слова: снігове навантаження, метеодані, короткострокове прогнозування.

ВОЗМОЖНОСТИ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ

Пашинский В.А., д.т.н., профессор,
Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий
pva.kntu@gmail.com

Юрченко Е.И.
Кировоградский областной центр гидрометеорологии, г. Кропивницкий

Аннотация. По результатам анализа 67-летних рядов наблюдений за снежным покровом подтверждена периодичность изменений снеговой нагрузки во времени и предложена методика краткосрочного прогнозирования величины снеговой нагрузки по результатам наблюдений прошлых лет. Результаты указывают на возможность уменьшения расчетных значений снеговой нагрузки в периоды малоснежных зим в среднем на 15%, а в отдельных случаях – до 40%. Реальный прогноз с обеспеченностью 0,95 можно выполнить на период 1...3 года. По результатам расчетов в ряде случаев можно позволить эксплуатацию несущих конструкций до их усиления или замены.

Ключевые слова: снеговая нагрузка, метеоданные, краткосрочное прогнозирование.

POSSIBILITY OF SHORT-TERM FORECAST OF SNOW LOAD

Victor Pashinsky, Doctor of Engineering, Professor,
Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitskiy
pva.kntu@gmail.com

Юрченко О.И.
Kirovograd regional center of hydrometeorology, Kropivnitskiy

Abstract. The 67-year data of observations of the weight of snow cover on the ground have been analyzed. The frequency of changes of the low snow seasons and snowy winters in time is confirmed. The method of short-term forecasting of the snow load values based on the results of observations of past years relies on the consideration of nonstationary sequences of annual maximum of snow weight. By analyzing the results of snow shootings was discovered the opportunity to reduce the estimated values of snow load during periods of low snow winters, which make up about half of observation. The average decrease is about 15%, and in some cases it can reach up to 40%. Comparison with actual data of the following years has shown that with a probability of 0.95 predictive values can be used for a period of up to 1...3 years. Such period of time allows to reinforce or replace bearing structures that can not resist the full snow load. The revealed expediency of short-term forecasting of snow loads induces further improvement of the methodology for calculating predictive values.

Keywords: snow load, meteorological data, short-term forecasting.

Постановка проблеми. Перевірочні розрахунки несучих будівельних конструкцій, що перебувають в експлуатації, вимагають точного визначення фактично діючих навантажень. У попередніх роботах автора виявлена певна циклічність змін снігового навантаження, яка виражається в чергуванні послідовностей малосніжних та багатосніжних зим. Це дозволяє зменшити розрахункові значення снігового навантаження на період декількох років, коли реалізуються малосніжні зими. Якщо перевірочні розрахунки з урахуванням снігового навантаження згідно з чинними нормами вказують на необхідність підсилення конструкцій, а при урахуванні зниженого снігового навантаження підтверджують їх достатню несучу здатність, це дає певний резерв часу для підсилення чи заміни цих конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найпоширеніший спосіб визначення розрахункових значень ваги снігового покриву на поверхні ґрунту [1, 2] базується на описі послідовностей річних максимумів у формі випадкових величин, розподілених за законом Гумбеля [3]. Результати снігомірних зйомок накопичувалися с архівах Гідрометеослужби та публікувалися в спеціалізованих метеорологічних виданнях [4, 5]. Разом з методикою [1-3] дані [4, 5] дозволяють визначати граничні розрахункові значення снігового навантаження за заданим періодом повторюваності, який для об'єктів масового будівництва приймається рівним встановленому терміну експлуатації конструкцій [6]. Таким чином, були обчислені характеристичні значення снігового навантаження з періодом повторюваності 50 років при розробленні норм навантажень [6], де вони узагальнено представлені у формі карти територіального районування України. За результатами аналізу тривалих рядів спостережень в роботі [2] виявлена періодичність зміни ваги снігового покриву та висловлена ідея щодо можливості короткострокового прогнозування величини снігового навантаження на будівлі.

Метою даної роботи є виявлення можливості та аналіз доцільності короткострокового прогнозування розрахункових значень снігового навантаження за фактичними результатами метеорологічних спостережень.

Вихідними даними для дослідження є послідовності річних максимумів ваги снігового покриву (запасу води) на трьох метеостанціях, розміщених у різних районах Кіровоградської області: Кропивницький, Гайворон і Долинська. Послідовності сформовані за результатами снігомірних зйомок, які систематизувалися в обласному центрі з гідрометеорології та публікувалися в [7]. Для усіх метеостанцій використані ряди спостережень тривалістю 67 зим (від зими 1950-1951 року до зими 2016-2017 року). Вага снігового покриву під час малосніжних зим (при висоті покриву до 5 см питома вага снігу не визначається) отримана з урахуванням наявної висоти та середнього для метеостанції значення питомої ваги снігу.

Наявні послідовності річних максимумів ваги снігового покриву q_i для трьох метеостанцій зображені на рисунку 1 ламаними лініями з маркерами. Не дивлячись на досить хаотичний характер змін у часі, можна помітити періодичність реалізації серій малосніжних та багатосніжних зим. Більш чітко ці закономірності проявляються на графіках згладжених послідовностей M_i , які обчислені як середні значення за 5 попередніх років:

$$M_i = (q_{i-4} + q_{i-3} + q_{i-2} + q_{i-1} + q_i) / 5. \quad (1)$$

Функції (1), зображені на рисунку 1 суцільними лініями, можна вважати функціями математичного сподівання нестационарного процесу зміни річних максимумів ваги снігового покриву. На рисунку 1 звертає на себе увагу синхронність зміни снігового навантаження на усіх метеостанціях. Поряд з візуальною подібністю, цей факт підтверджують досить високі коефіцієнти кореляції між значеннями ваги снігового покриву q_i в одні й ті ж роки на різних метеостанціях, які змінюються від 0,55 до 0,69. Коефіцієнти кореляції між поточними значеннями математичного сподівання M_i за (1) є вищими і знаходяться в межах від 0,75 до 0,87. Така синхронність змін ваги снігового покриву цілком природно обумовлена синхронністю змін кліматичних факторів на порівняно невеликій території області.

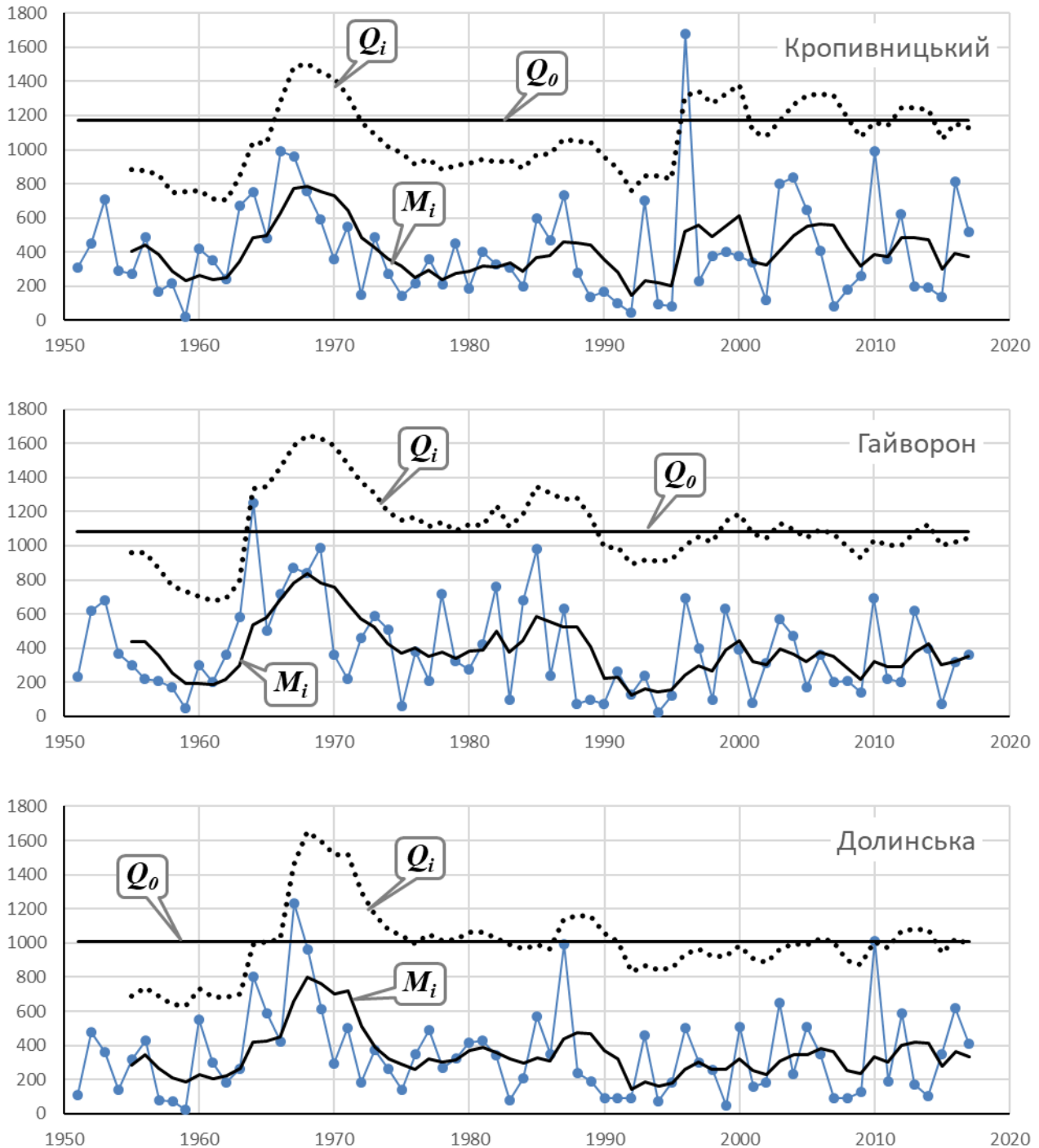


Рис. 1. Результати прогнозування характеристичних значень снігового навантаження

Методика прогнозування снігового навантаження заснована на використанні закону розподілу Гумбеля [3] та робочих формул [2] для обчислення граничних розрахункових значень навантаження. Для порівняльного аналізу розрахункових значень скористаємося простою наближеною формулою з [2]:

$$Q(T) = M + S(0,78 \ln T - 0,45). \quad (2)$$

Підстановка до (2) середнього значення M та стандарту S усієї послідовності, як це зазвичай робиться при нормуванні навантажень [1], дає граничне розрахункове значення снігового навантаження, яке може перевищуватися в середньому один раз на T років.

У подальшому будемо аналізувати характеристичні значення снігового навантаження Q_0 , які згідно з вказівками [6] повинні відповідати періоду повторюваності $T=50$ років. Тоді формула (2) приймає вигляд:

$$Q_0 = M + 2,6S. \quad (3)$$

Характеристичні значення Q_0 , обчислені за (3) та результатами спостережень усіх років, відображені на графіках рисунка 1 горизонтальними прямими лініями.

Короткострокове прогнозування снігового навантаження засноване на урахуванні нестационарності послідовностей річних максимумів ваги снігового покриву за рахунок змін у часі статистичних характеристик цих послідовностей. Підстановка до (3) змінних у часі значень математичного сподівання M_i та стандарту S_i дає вираз:

$$Q_i = M_i + 2,6S_i. \quad (4)$$

Прогноз за формулою (4) виконується на момент останнього року спостереження, порядковий номер якого в послідовності річних максимумів позначимо через i . Математичне сподівання M_i обчислюється за (1) з урахуванням останніх п'яти років спостережень, а стандарт S_i визначається за відомою формулою [7] з урахуванням значень ваги снігового покриву від початку наявної послідовності максимумів до моменту прогнозу, тобто від q_1 до q_i включно. Отримане характеристичне значення (4) можна поширити на декілька наступних років експлуатації та вважати його прогнозом величини снігового навантаження.

Обчислення для розрахункових, а не характеристичних значень навантаження, будуть відрізнятися іншими періодами повторюваності T та відповідно іншим значенням числового коефіцієнта у формулах (3) і (4). При цьому відносна різниця між прогнозним Q_i та повним значенням Q_0 снігового навантаження залишиться незмінною.

Результати розрахунків за описаною методикою наведені на графіках рисунка 1. Прогнозування за формулами (1) і (4) виконувалося, починаючи з $i=5$ до $i=67$, тобто від зими 1954-1955 років до зими 2016-2017 років. На графіках прогнозні значення математичного сподівання M_i за (1) та характеристичного значення снігового навантаження Q_i за (4) накладені на вихідні послідовності річних максимумів ваги снігового покриву q_i . Це дозволило порівняти прогнозні значення M_i та Q_i , обчислені за даними попередніх років, з фактичними значеннями ваги снігового покриву в майбутні роки, під час яких буде використовуватися прогноз.

З рисунка 1 видно, що функції математичного сподівання M_i загалом відображають періодичність чергування малосніжних та багатосніжних років, а прогнозні характеристичні значення Q_i огинають фактичну послідовність річних максимумів ваги снігового покриву по верхній межі дослідних точок. В окремих поодиноких випадках особливо великі річні максимуми перевищують на лише прогнозні значення (4), але й загальні характеристичні значення Q_0 , обчислені за формулою (3) та характеристиками усієї наявної послідовності максимумів ваги снігового покриву. Результати прогнозування на рисунку 1 суміщені з фактичними даними для поточного року прогнозу, але призначені для використання в наступні роки. Це спонукає проаналізувати надійність такого прогнозу, можливість та ефективність його використання протягом декількох наступних років.

Надійність короткострокового прогнозу снігового навантаження оцінена за кількістю випадків перевищення фактичними значеннями навантаження q_i обчислених за (4) характеристичних значень Q_i . При цьому характеристичні значення Q_i порівнювалися з

фактичними річними максимумами ваги снігового покриву для п'яти наступних років спостереження. В таблиці 1 вказані кількості випадків перевищень прогнозних значень Q_i ; фактичними даними в межах від q_{i+1} до q_{i+5} , підраховані за наявними послідовностями навантажень і виражені у відсотках від кількості зроблених прогнозів.

Таблиця 1 – Надійність короткотермінового прогнозування снігового навантаження

Відсотки випадків перевищення фактичним навантаженням:	Метеостанції		
	Кропивницький	Гайворон	Долинська
характеристичного значення $q_i > Q_0$	1,5	1,5	1,5
прогнозу на 1 рік $q_{i+1} > Q_i$	1,6	1,6	6,5
прогнозу на 2 роки $q_{i+2} > Q_i$	4,9	1,6	13,1
прогнозу на 3 роки $q_{i+3} > Q_i$	10,0	1,7	20,0
прогнозу на 4 роки $q_{i+4} > Q_i$	11,9	6,8	22,0
прогнозу на 5 років $q_{i+5} > Q_i$	13,8	8,6	25,9

З таблиці видно, що повне характеристичне значення снігового навантаження Q_0 на трьох проаналізованих метеостанціях перевищується по одному разу протягом усіх 67 років спостережень, тобто у 1,5% випадках. Це відповідає 50-річному періоду повторюваності характеристичного значення, при якому повинно реалізуватися 2% перевищень фактичним навантаженням його характеристичного значення. Кількість випадків перевищення сніговим навантаженням прогнозних значень залежить від метеостанції та істотно збільшується з ростом тривалості використання прогнозу. Вважаючи допустимою 5% частоту перевищень, можна зробити висновок, що на метеостанції Гайворон досить достовірні прогнози можна робити на строк до 3 років, на метеостанції Кропивницький – на 2 роки, а прогнозування для метеостанції Долинська може бути відносно надійним не більше, ніж на один рік наперед.

Аналіз рисунка 1 показав, що ненадійність прогнозування проявляється в моменти різкого збільшення та реалізації особливо великих значень ваги снігового покриву, наприклад у зиму 1995-1996 року в Кропивницькому, зимою 2009-2010 року в Долинській, а також в інші подібні моменти часу.

Ефективність короткострокового прогнозування оцінена за двома критеріями. Першим критерієм є наведені в таблиці 2 частки випадків, коли прогнозне характеристичне значення Q_i отримано меншим за повне характеристичне значення навантаження Q_0 . Другим критерієм є середнє та максимальне виявлене зменшення прогнозного характеристичного значення Q_i порівняно з повним характеристичним значенням Q_0 . Ці дані, виражені у відсотках від Q_0 , також наведені в таблиці 1.

Таблиця 2 – Ефективність короткотермінового прогнозування снігового навантаження

Характеристики ефективності прогнозування (у відсотках)	Метеостанції		
	Кропивницький	Гайворон	Долинська
Частка випадків зниження навантаження $Q_i < Q_0$	70	49	54
Середнє зниження навантаження, %	19	13	13
Максимальне зниження навантаження, %	40	37	37

З таблиці видно, що більш ніж у половині років прогнозовані значення є меншими від повних характеристичних значень снігового навантаження. Короткострокове прогнозування дозволяє зменшити снігове навантаження в середньому на 13...19%, а в окремих випадках – до 40%. У ряді випадків таке зменшення розрахункового значення снігового навантаження може бути вирішальним фактором гарантування достатньої несучої здатності несучих конструкцій на протязі 1...3 найближчих років.

Ефективність використання короткострокового прогнозу значною мірою залежить від характеру міжрічної мінливості ваги снігового покриву. З рисунка 1 видно, що великі

амплітуди змін математичного сподівання M_i у період приблизно до 1995 року обумовлюють наявність періодів значного зменшення прогнозних значень навантаження Q_i порівняно з повним характеристичним значенням Q_0 . В наступні роки вага снігового покриву значною мірою стабілізується, що зменшує розмах коливань прогнозних значень Q_i , наближає їх до повного характеристичного значення снігового навантаження Q_0 і таким чином робить короткострокове прогнозування менш ефективним.

Порівняння наведених на рисунку 1 фактичних та прогнозних значень снігового навантаження показує, що у більшості випадків прогнозування виконане з надто великим запасом. Це спонукає до проведення подальших досліджень з метою удосконалення методики прогнозування та аналізу більшого обсягу результатів спостереження за сніговим покривом в інших регіонах України.

Якщо в результаті короткострокового прогнозування отримано $Q_i > Q_0$, при перевірці несучої здатності конструкцій слід враховувати повне характеристичне значення Q_0 . Досвід показує, що навіть у цьому випадку для значної кількості метеостанцій наявне зменшення характеристичного значення порівняно з картою територіального районування ДБН [6]. Зокрема, згідно з картою районування ДБН метеостанції Кропивницький та Гайворон розміщені в 4-тому сніговому районі з характеристичним значенням ваги снігового покриву 1400 Па, а Долинська – до 3-тього району з характеристичним значенням 1200 Па. Отримані за фактичними результатами спостережень повні характеристичні значення дорівнюють 1173 Па, 1081 Па та 1005 Па відповідно, тобто уточнення повних характеристичних значень Q_0 за фактичними дозволяє зменшити їх на 16...23%. Короткострокове прогнозування за запропонованою методикою забезпечує додаткове зменшення снігового навантаження в періоди малосніжних зим.

Висновки та перспективи подальших досліджень:

1. Виконаний аналіз показав можливість прогнозування характеристичних значень снігового навантаження за результатами спостережень минулих років на майбутні 1...3 роки.
2. Приблизно у половині випадків прогнозні значення снігового навантаження є меншими від повного характеристичного значення, що може істотно вплинути на висновок щодо несучої здатності конструкцій, які перебувають в експлуатації,
3. Загалом виконані дослідження підтвердили доцільність короткострокового прогнозування снігового навантаження на конструкції, що перебувають в експлуатації, але вказали на необхідність удосконалення методики обчислення прогнозних значень з метою підвищення рівня надійності прогнозів.

Література

1. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / Под общей ред. А.В. Перельмутера. – 4-е изд., перераб. – М.: Издательство СКАД СОФТ, издательство АСВ, издательство ДЦМК Пресс, 2014. – 596 с.
2. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції для території України / В.А. Пашинський. – К.: УкрНДПроектстальконструкція, 1999. – 195 с.
3. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений / Э. Гумбель. – М.: Мир, 1965. – 450 с.
4. Метеорологический ежемесячник. Часть II, Л.: Гидрометеиздат, 1950.... Вып. 10.
5. Метеорологический ежегодник. Наблюдения гидрометеорологических станций и постов над снежным покровом (снегосъемки). Л.: Гидрометеиздат, 1951.... Вып. 10.
6. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінбуд України, 2007. – 59 с.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

Стаття надійшла 10.10.2017