

УДК 624.074.5

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ДІЇ РУХОМОГО СНІГОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПОКРІВЛЮ ЦИЛІНДРИЧНИХ СІТЧАСТИХ ПОКРИТТІВ

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЯ ПОДВИЖНОЙ СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ НА КРОВЛЮ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СЕТЧАТЫХ ПОКРЫТИЙ

FEATURES OF DESIGN OF ACTION MOVING OF SNOW LOAD ON ROOF OF THE CYLINDRICAL RETICULATED COVERINGS

Сіянов О.І., к.т.н., доцент (Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця)

Сиянов А.И., к.т.н., доцент (Винницкий национальный технический университет, г. Винница)

Siyanov O.I., candidate of technical sciences, associate professor (Vinnytsya National Technical University, Vinnytsya)

Здійснено моделювання дії рухомого снігового навантаження на покрівлю сітчастих циліндричних покриттів. Оцінено наслідки різких погодних коливань в холодний період року. Продемонстровано послідовність врахування параметрів впливу і знайдено відповідне рівняння руху.

Осуществлено моделирование действия подвижной снеговой нагрузки на кровлю сетчатых цилиндрических покрытий. Оценены последствия резких погодных колебаний в холодный период года. Продемонстрирована последовательность учета параметров влияния и найдено соответствующее уравнение движения.

The design of action of snow live-load is carried out on the roof of the reticulated cylindrical coverings. The consequences of sharp weather vibrations are appraised in a cold period of year. The sequence of account of parameters of influence is shown and corresponding equalization of motion is found.

Ключові слова:

Рухоме снігове навантаження, моделювання, покриття, поверхня, покрівля.

Подвижная снеговая нагрузка, моделирование, покрытие, поверхность, кровля.

Moving of snow load, modeling, covering, surface, roof.

Актуальність питання. В рамках розробки сітчастих циліндричних покриттів (рис. 1) зазвичай використовують перевірені на практиці інженерні підходи і досвід напрацювань за майже столітній період досліджень [1–9]. Між тим щорічна зміна погоди та особливо в зимній період року потребує уточнення наявних методів розрахунку кліматичних навантажень.

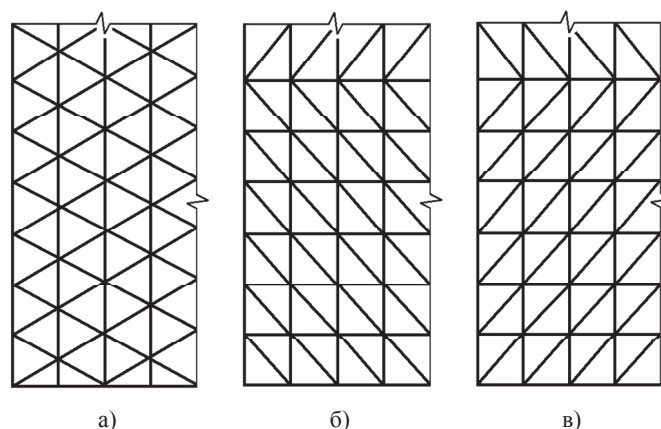


Рис. 1. Розгортки фрагментів сіток циліндричного покриття: а) з рівносторонніми трикутними чарунками; б) з квадратними чарунками і низхідними розкосами;

в) з квадратними чарунками і висхідними розкосами

Виділення і аналіз публікацій. Сьогодні основні положення щодо врахування і визначення силових впливів регламентовано в затвердженому та нині діючому нормативному документі [10]. Із них найбільш вагомим для покриттів вважають дію снігового масиву, а за основу його моделювання приймають гладку і однорідну поверхню покрівлі. Проте природний стан снігу під впливом температури з часом може змінювати свою форму і набувати нової якості.

Вагомими фундаментальними розробками, які мають місце в науковій літературі свідчать про значні досягнення вчених в сфері проведення теоретичних досліджень. Зокрема відомо, що переважна більшість фахівців як ближнього, так і дальнього зарубіжжя торкається у першу чергу фізичної

суті процесів руху снігових лавин [11–24]. На жаль мало виконано робіт прикладного характеру та відсутні рекомендації відносно використання інженерних методик розрахунку для конструкцій. В повній мірі не розглянуто підходи стосовно дії елементів снігової товщі на покриття циліндричної сітчастої форми. Як видно не вирішених питань дуже багато та наслідки від суттєвих погодних коливань можуть бути доволі істотними і вкрай непередбачуваними. Потрібно виділити головні завдання та здійснити систематизацію відомих напрацювань, які можна застосувати для нових розробок з перспективою подальшого включення в сучасні нормативні документи.

Постановка проблеми і методика досліджень. Насамперед слід врахувати появу значних шарів снігового масиву та можливий їх рух у напрямку схилу поверхні покриття. Таким чином розумно розглядати покрив снігу в достатньо поширеному сипкому стані (рис. 2). Для його руху спочатку знехтуємо недосконаlostями покрівлі.



Рис. 2. Фотознімок сипкого стану снігового масиву

Тоді за основу побудови методологічного підходу використаємо модель ідеального сипкого середовища. Згідно нього елементи снігового масиву нез'язані між собою і у випадку зсунення на покрівлі здійснюють рух з різною швидкістю.

Найбільший вплив на покриття справляє рух елементів до настання граничної швидкості. Далі елементи снігової товщі втрачають контакт з

покрівлю і вільно падають під дією сил тяжіння. Процеси, що супроводжують такі стани звичайно викликають особливий інтерес. Тож в запропонованій статті **сформульовано мету**: змоделювати дію рухомого снігового масиву на покрівлю сітчастих циліндричних покриттів.

Основна частина. Наведемо характерні випадки, яким відповідають розрахункові схеми розподілу снігового навантаження (рис. 3, 4).

Використаємо теорему про зміну кінетичної енергії. Звідки запишемо

$$\frac{\partial T}{\partial t} = N^i + N^e, \quad (1)$$

де T – кінетична енергія окремого елемента; t – час; N^i і N^e – відповідно внутрішні і зовнішні сили.

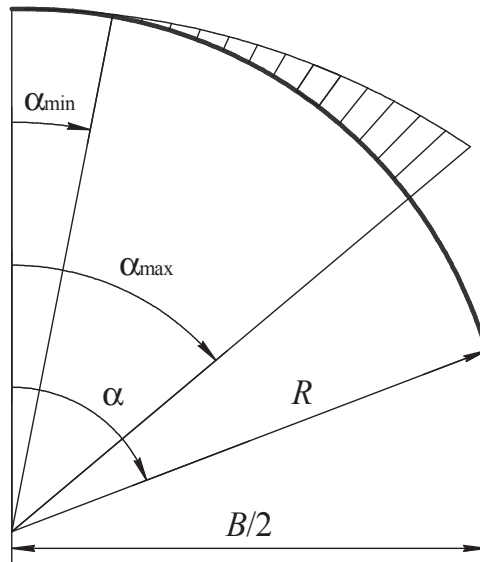


Рис. 3. Фрагмент поперечного перерізу покриття з початковим розподілом снігового покриву до зсування на покрівлі

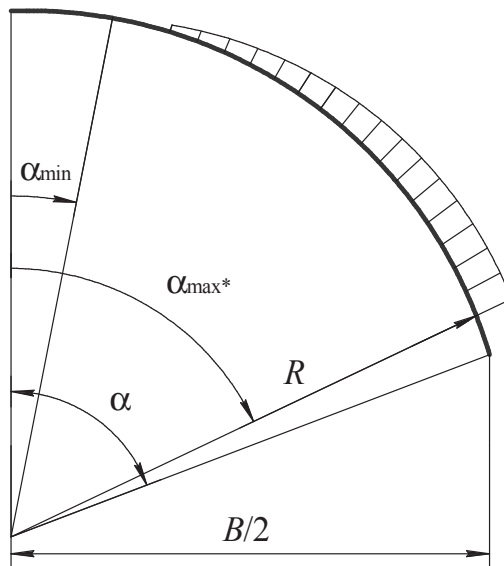


Рис. 4. Фрагмент поперечного перерізу покриття зі змінним розподілом снігового покриву в момент зсування на покрівлі

Тут важливо зазначити відсутність внутрішніх сил, які можна прирівняти до нуля:

$$N^i = 0 \quad (2)$$

і наявність зовнішніх сил, що виглядають як сума двох складових:

$$N_i^e = N_g^e + N_f^e, \quad (3)$$

де N_g^e – сила тяжіння; N_f^e – сила тертя.

Для елемента снігового покриву кінетична енергія буде

$$T = m_i \frac{v_i^2}{2}, \quad (4)$$

де m_i – маса елемента; v_i – вектор швидкості елемента.

У часі можна записати

$$m_i(\alpha_i, t); v_i(\alpha_i, t), \quad (5)$$

де α_i – кутовий параметр.

Зв'язок швидкості елемента з геометрією покрівлі сітчастої поверхні доцільно подати у вигляді рівності

$$v_i = R \cdot \alpha_i, \quad (6)$$

де R – радіус описаного кола покриття.

Після виконання ряду перетворень матимемо рівняння руху елемента снігового покриву

$$\alpha_i = \frac{1}{R} \left[g \sin \alpha_i - \mu (g \cdot \cos \alpha_i - R \cdot (\alpha_i)^2) \right], \quad (7)$$

де g – вектор прискорення вільного падіння; μ – коефіцієнт тертя.

Наведене рівняння слід інтегрувати в часовому інтервалі від нульового відліку до конкретного моменту часу, настання якого вказує про втрату контакту елемента з покрівлею. Далі частина снігового масиву здійснює вільне падіння за траєкторією параболи.

Висновки. Проаналізовано стан питання і розглянуто проблему можливого руху значних шарів снігової товщі у напрямку схилу конструкції покрівлі сітчастих циліндричних покриттів. Виконано оцінку небезпечних наслідків щорічних погодних коливань в найбільш холодний період року. Здійснено моделювання дії рухомого снігового масиву на покрівлю. Прийнято гладку і однорідну поверхню та використано модель ідеального сипкого середовища. Оцінено стан початкового і зміненого розподілу навантаження від снігу до здійснення руху та в момент зсування на покрівлі. Продемонстровано послідовність врахування основних параметрів впливу. Використано теорему про зміну кінетичної енергії та знайдено відповідне рівняння руху.

1. Инженерные конструкции : [учеб. для вузов] / В. Н. Голосов, В. В. Ермолов, Н. В. Лебедева [и др.] ; под ред. В. В. Ермолова. – М. : Высш. школа, 1991. – 408 с. 2. Трушев А. Г. Пространственные металлические конструкции : учеб. пос. для вузов / А. Г. Трушев. – М. : Стройиздат, 1983. – 215 с. 3. Лебедев В. А. Сетчатые оболочки в гражданском строительстве на севере / В. А. Лебедев, Л. Н. Лубо. – Л. : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. – 136 с. 4. Пшеничнов Г. И. Теория тонких упругих сетчатых оболочек и пластинок / Г. И. Пшеничнов. – М. : Изд-во «Наука», 1982. – 352 с. 5. Рюле Г. Пространственные покрытия. Конструкции и методы возведения / Г. Рюле ; пер. с нем. – Том 2. – М. : Стройиздат, 1974. – 247 с. 6. Лубо Л. Н. Руководство по проектированию и расчету покрытий нового типа – сетчатых оболочек / Л. Н. Лубо. – Л. : ЛенЗНИИЭП. 1971. – 63 с. 7. Патцельт О. Стальные решетчатые пространственные конструкции / О. Патцельт ; пер. с нем. – М. : ЦИНИС Госстроя СССР, 1970. –

95 с. **8.** Райт Д. Т. Большие сетчатые оболочки / Д. Т. Райт. – Л. : Стройиздат, 1966. – 11 с. **9.** Попов И. Г. Цилиндрические стержневые системы / И. Г. Попов. – Л.; М. : Гос. изд-во лит. по стр-ву и арх-ре, 1952. – 112 с. **10.** ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінбуд України. – К. : Вид-во «Сталь», 2006. – 60 с. **11.** Долов М. А. Физика снега и динамика снежных лавин / М. А. Долов, В. А. Халкечев. – Л. : Гидрометеиздат, 1972. – 328 с. **12.** Жекамухов М. К. Сход снежных лавин и возникновение воздушных ударных волн / М. К. Жекамухов, И. М. Жекамухова // Электронный журнал «Исследовано в России». – С. 512–524. **13.** Калажоков Х. Х. Некоторые вопросы усовершенствования механической модели снежных лавин / Х. Х. Калажоков, Х. М. Темукаев // Физика снега и динамика снежных лавин. Труды высокогорного геофизического института. Вып. 37. – М.: Гидрометеиздат, 1977. – С. 16–32. **14.** Козик С. М. Расчет движения снежных лавин / С. М. Козик. – Л. : Гидрометеиздат, 1962. – 75 с. **15.** Куликовский А. Г. Двумерная задача о движении снежной лавины по склону с плавно меняющимися свойствами / А. Г. Куликовский, М. Э. Эглит // ПИММ, 1973, т. 37, вып. Б. – С. 837–848. **16.** Пановко Я. Г. Механика деформируемого твердого тела: современные концепции, ошибки и парадоксы / Я. Г. Пановко. – М. : Наука, 1985. – 288 с. **17.** Руденко О. В. Нелинейная динамика склоновых потоков: простые модели и точные решения / Руденко О. В., Собисевич А. Л., Собисевич Л. Е. // Доклады Академии наук. – 2007. – Т. 416. – С. 384–387. **18.** СНиП 2.06.04-82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) / Минстрой России. – М. ГИ ЦПП, 1996. – 48 с. **19.** McClung D. M. Characteristics of flowing snow and avalanche impact pressures / D. M. McClung, P. A. Schaerer // *Annals of Glaciology*. No 6, 1985. – P. 9–14. **20.** Gruber U. Avalanche hazard mapping using numerical Voellmy-fluid models / U. Gruber, P. Bartelf, H. Haefner // *NGI, Oslo, pub. Nr. 203*, 1998. – P. 117–121. **21.** Hermann F. Laboratory experiments on the dynamics of powder snow avalanches / F. Hermann, J. Hermann, K. Hutter // *Avalanche Formation, Movement and Effects (Proceedings of the Davos Symposium, September 1986)*. IAHS Publ. No 162, 1987. – P. 431–440. **22.** Kurahashi I. Estimation of snow load of large-scale inclined roof of Tajima Dome / I. Kurahashi, A. Honda // *Snow Engineering. Recent Advances and Developments*. – Rotterdam: A. A. Balkema, 2000. – P. 195–199. **23.** Leaf C. F. *Avalanche Dynamics* / C. F. Leaf, M. Jr. Martinelli // *Engineering applications for land use planning: USDA For. Serv. Res. Pap. RM-183*, 1977. – 51 p. **24.** Nakamura H. Impact forces of snow blocks sliding down from roofs against walls (in Japanese) / H. Nakamura, O. Abe, T. Nakamura // *National Research Centre for Disaster Prevention, Japan, Report. No 25*, 1981. – P. 169–189.