

**ВІЛЬНЕ ПАДІННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СНІГОВОГО МАСИВУ З ПОКРІВЛІ ЦИЛІНДРИЧНИХ СІТЧАСТИХ ПОКРИТТІВ ТА ЙОГО УДАРНА ДІЯ НА ПЛОСКІ ПЕРЕШКОДИ**

**СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СНЕГОВОГО МАССИВА С КРОВЛИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СЕТЧАТЫХ ПОКРЫТИЙ И ЕГО УДАРНОЕ ДЕЙСТВИЕ НА ПЛОСКИЕ ПРЕПЯТСТВИЯ**

**FREE FALLING OF SNOW ARRAY ELEMENTS FROM ROOF OF THE CYLINDRICAL RETICULATED COVERINGS AND HIS SHOCK OPERATING ON FLAT OBSTACLES**

**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)

**Розглянуто послідовність руху елементів снігового масиву у випадку їх відриву з покрівлі циліндричних сітчастих покриттів. Створено методику визначення характеристик руху на етапах вільного падіння та за фактом взаємодії з перешкодою. Враховано основні параметри впливу.**

**Рассмотрена последовательность движения элементов снегового массива в случае их отрыва с кровли цилиндрических сетчатых покрытий. Создана методика определения характеристик движения на этапах свободного падения и по факту взаимодействия с препятствием. Учтены основные параметры влияния.**

**The sequence of motion of snow array elements is considered in the case of their separating from the roof of the cylindrical reticulated coverings. The methods of determination of characteristics of motion are created on the stages of the free falling and in fact of co-operating with an obstacle. The basic parameters of influence are taken into account.**

**Ключові слова:**

**Покрівля, покриття, сніговий масив, вільне падіння, удар, перешкода.  
Кровля, покрытие, снеговой массив, свободное падение, удар, препятствие.  
Roof, covering, snow array, free falling, shock, obstacle.**

**Вступ. Аналіз джерел.** За останні понад півстоліття опублікована велика кількість робіт з питань удосконалення існуючих і розробки нових методів розрахунку циліндричних сітчастих покриттів (рис. 1). Багато уваги приділено створенню теоретичної бази, розглянуто різні математичні підходи та побудовано наближені методики розрахунку [1–20]. Причому особливу роль у наукових дослідженнях відведено експлуатаційним навантаженням, що діють на конструкцію сітчастого покриття. Втім жодна з них не висвітлює питання поведінки снігового масиву в зимній період року і особливо у випадку зміни температури під час відлиги.

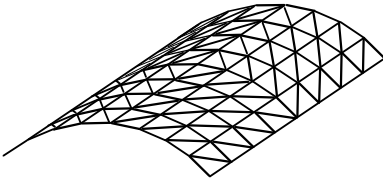


Рис. 1. Конструктивна схема циліндричного сітчастого покриття

Із практики оцінки впливу на несучу здатність покриття відомо, що тиск снігової товщі з усіх наявних навантажень досить істотний і за умови значної положистості покрівлі може бути надто небезпечним. Циліндричні сітчасті покриття мають два рівноцінні схили для можливого скочування снігу з покрівлі. Однак різкі погодні коливання в холодний період року можуть змінювати природний стан снігу і спричиняти непередбачувані наслідки.

Сучасні норми [21] нажаль не торкаються процесів руху снігового масиву з покриттів. В науковій літературі з даної тематики відсутні системні напрацювання прикладного характеру, майже немає інструкцій відносно використання зручних методик розрахунку для конструкцій.

У попередній роботі [22] здійснено моделювання дії рухомого снігового навантаження на покрівлю циліндричних сітчастих покриттів, викладено послідовність врахування параметрів впливу і знайдено відповідне рівняння руху

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

де  $R$  – радіус описаного кола покриття;  $g$  – вектор прискорення вільного падіння;  $\alpha_i$  – кутовий параметр;  $\mu$  – коефіцієнт тертя.

**Методика дослідження. Постановка мети і задач.** Отримане рівняння справедливе до втрати контакту елемента снігового масиву з покрівлею, подальше положення якого слід визначати за балістичною кривою у певний момент часу. Іншими словами, продовжуючи свій рух, елемент снігового масиву здійснює вільне падіння до зіткнення з перешкодою. Параметри, що супроводжують такі стани звичайно викликають неабиякий інтерес. Тож в запропонованій статті **поставлено мету**: створити методика визначення характеристик елементів снігового масиву на етапах їх вільного падіння та взаємодії з перешкодою.

**Виклад основної частини.** Почнемо з визначення основних теоретичних положень. Згідно з ними вирішення рівняння (1) здійснюється до моменту часу, за яким завдяки дії відцентрової сили інерції елемент виходить із контактної взаємодії з покриттям і здійснює падіння за балістичною кривою.

Умова настання такого стану має вигляд

$$\Delta m_i g \cdot \cos \alpha_i = \Delta m_i v_i^2 / R, \quad (2)$$

де  $m_i$ ,  $v_i$  – маса і вектор швидкості елемента відповідно.

За знайденими на даному етапі результатами фіксується час  $t = t_{d,i}$ , а також параметри траєкторії  $\alpha_{d,i}$ ,  $x_{d,i}$ ,  $z_{d,i}$  і швидкість  $v_{d,i}$ , які використовуються як початкові умови для побудови параболічної траєкторії другого етапу руху  $i$ -го елемента (етапу вільного падіння за балістичною кривою).

Указана траєкторія в системі координат  $Oxz$  (рис. 2)

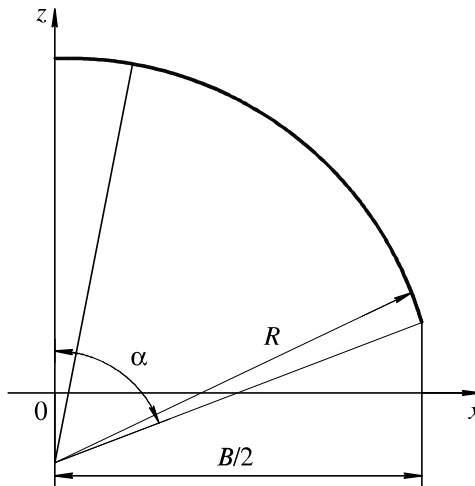


Рис. 2. Фрагмент поперечного перерізу покриття з геометричними параметрами

описується рівностями

$$\begin{aligned} x_i(t) &= x_{d,i} + (v_{d,i} \cdot \cos \alpha_{d,i})(t - t_{d,i}), \\ z_i(t) &= z_{d,i} - (v_{d,i} \cdot \sin \alpha_{d,i})(t - t_{d,i}) - \frac{g(t - t_{d,i})^2}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

коли  $t \geq t_{d,i}$ .

Вони використовуються до моменту досягнення координатою  $z_i(t)$  значення  $z_i(t) = 0$  в момент часу  $t = t_{f,i}$ , яке визначається із системи (3). У подальшому розраховуються компоненти  $v_x(t_f)$  і  $v_z(t_f)$  вектора швидкості  $v_i$  та його модуль

$$v(t_f) = \sqrt{[v_x(t_f)]^2 + [v_z(t_f)]^2}. \quad (4)$$

За величинами  $v_{f,x}$  і  $v_{f,z}$  можна спочатку розрахувати значення нової довжини  $i$ -го елемента

$$\Delta s_i(t_f) = (v_{f,i} + v_{f,i+1})(t_{f,i+1} - t_{f,i}) / 2, \quad (5)$$

а потім і величину розподіленої маси коли  $t = t_f$

$$m_{f,i} = \frac{2 \cdot m_{s,i} \cdot \Delta \alpha \cdot R}{(v_{f,i} + v_{f,i+1})(t_{f,i+1} - t_{f,i})}. \quad (6)$$

Наступний рух снігового масиву здійснюється шляхом його падіння на наземну перешкоду. Цей процес супроводжується ударом, який для безперервного снігового потоку проявляється як тиск  $N_{sh,i}^{(+)}$ , що змінюється в часі.

В даному випадку виділимо такий сніговий потік, який має ширину 1 м із заданою розподіленою щільністю  $m$  і невизначеною висотою (в нижній частині потоку – товщиною). Під час падіння на землю будемо розглядати сніговий потік як стрічку і визначати силу його ударного тиску  $N_{sh,i}^{(+)}$ , розподілену на 1 м ширини.

Для розрахунку величини  $N_{sh,i}^{(+)}$  скористаємось методикою визначення сил ударного тиску на перешкоду потоками сипких матеріалів, що рухаються та поточних струменів, ланцюгів, що падають [23–25].

Використавши теорему про зміну кількості руху  $Q$  за проміжок часу  $\Delta t$ , запишемо

$$Q_i - Q_{0,i} = N_{sh,i}^{(-)} \Delta t, \quad (7)$$

де  $Q_{0,i}$  – кількість руху  $i$ -го елемента масиву до удару;  $Q_i$  – кількість руху того ж самого елемента масиву після ударної взаємодії з перешкодою за час  $\Delta t$ ;  $N_{sh,i}^{(-)}$  – сила ударної дії перешкоди на частки масиву.

Будемо вважати, що удар снігового потоку є абсолютно непружним, тоді  $Q_i = 0$ , а величина  $Q_{0,i}$  визначається за формулою

$$Q_{0,i} = m_{f,i} \cdot v_{f,i} \cdot \Delta t \cdot v_{f,i}, \quad (8)$$

де  $v_{f,i} \cdot \Delta t$  – площа поверхні снігової стрічки шириною 1 м, яка приймає участь в ударній взаємодії з перешкодою за час  $\Delta t$  (рис. 3).

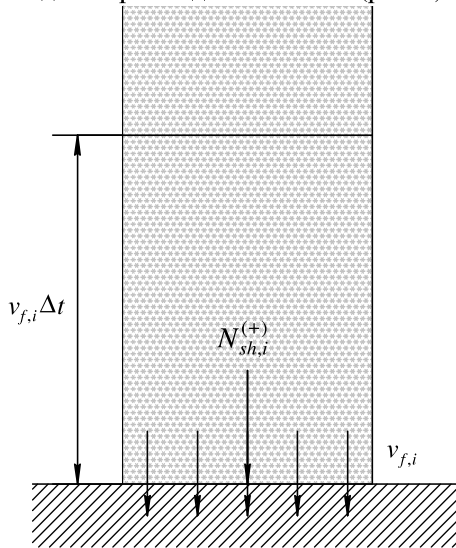


Рис. 3. Схема динамічної взаємодії снігового масиву, що падає з горизонтальною перешкодою

Підставивши (8) в (7), отримуємо відому формулу

$$N_{sh,i}^{(-)} = -m_{f,i} \cdot v_{f,i}^2 \quad (9)$$

або для ударної дії середовища на перешкоду

$$N_{sh,i}^{(+)} = -N_{sh,i}^{(-)} = m_{f,i} \cdot v_{f,i}^2 \quad (10)$$

**Висновки.** За результатами проведеної роботи розглянуто послідовність руху елементів снігового масиву після їх виходу із контактної взаємодії з покрівлею циліндричних сітчастих покриттів. Оцінено наслідки різких погодних коливань в холодний період року і особливо у випадку відлиги. Використано модель ідеального сипкого середовища і враховано основні параметри впливу. Створено методичку визначення характеристик руху елементів снігового масиву на етапах їх вільного падіння та за фактом взаємодії з перешкодою.

1. Попов И. Г. Цилиндрические стержневые системы / И. Г. Попов. – Л.; М. : Гос. изд-во лит. по стр-ву и арх-ре, 1952. – 112 с. 2. Райт Д. Т. Большие сетчатые оболочки / Д. Т. Райт. – Л. : Стройиздат, 1966. – 11 с. 3. Патцельт О. Стальные решетчатые пространственные конструкции / О. Патцельт ; пер. с нем. – М. : ЦИНИС Госстроя СССР, 1970. – 95 с. 4. Лубо Л. Н. Руководство по проектированию и расчету покрытий нового типа – сетчатых оболочек / Л. Н. Лубо. – Л. : ЛенЗНИИЭП. 1971. – 63 с. 5. Рюле Г. Пространственные покрытия. Конструкции и методы возведения /

Г. Рюле ; пер. с нем. – Том 2. – М. : Стройиздат, 1974. – 247 с. **6.** Свердлов В. Д. Исследование пространственных цилиндрических стержневых систем покрытий : дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук 05.23.01 / Свердлов Владимир Деонисович. – К., 1977. – 174 с. – Библиогр.: С. 153–161. **7.** Пшеничнов Г. И. Теория тонких упругих сетчатых оболочек и пластинок / Г. И. Пшеничнов. – М. : Изд-во «Наука», 1982. – 352 с. **8.** Лебедев В. А. Сетчатые оболочки в гражданском строительстве на севере / В. А. Лебедев, Л. Н. Лубо. – Л. : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. – 136 с. **9.** Трушев А. Г. Пространственные металлические конструкции : учеб. пос. для вузов / А. Г. Трушев. – М. : Стройиздат, 1983. – 215 с. **10.** 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. **11.** Свердлов В. Д. Металеві циліндричні стержневі покриття : моног. / В. Д. Свердлов, О. І. Сіянов. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 134 с. **12.** Свердлов В. Д. Напряжки удосконалення металевих циліндричних стержневих покриттів / В. Д. Свердлов, О. І. Сіянов : сборник докладов VIII Украинской науч.-техн. конф. «Металлические конструкции : взгляд в прошлое и будущее», (Киев, 18–22 октяб. 2004 г.). – Киев : изд-во «Сталь», 2004. – Ч. 2. – С. 18–20. **13.** Свердлов В. Д. Совершенствование цилиндрических стержневых систем покрытий / В. Д. Свердлов, А. И. Сиянов // Теория и практика металлических конструкций : труды Междунар. конф., (Донецк-Макеевка, 2–4 декаб. 1997 г.). – Донецк-Макеевка, 1997. – Т. 2. – С. 37–41. **14.** Гоцуляк Є. О. Загальна стійкість одношарових циліндричних стержневих покриттів / Є. О. Гоцуляк, О. І. Сіянов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – № 1. – С. 13–18. **15.** Сіянов О. І. Аналіз конструктивних рішень металевих одношарових циліндричних стержневих покриттів / О. І. Сіянов // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2004. – Вип. 11. – С. 279–282. **16.** Сіянов О. І. Робота металевого одношарового циліндричного стержневого покриття з жорсткими підкріплюючими елементами / О. І. Сіянов // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : збірник наук. праць. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2009. – № 2 (7). – С. 13–27. **17.** Сіянов О. І. Дослідження схем розташування хрестоподібних в'язей одношарового циліндричного стержневого покриття / О. І. Сіянов // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2012. – № 1. – С. 13–15. **18.** Сіянов О. І. Моделювання і розрахунок одношарового циліндричного стержневого покриття з горизонтальними фермами / О. І. Сіянов // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : збірник наук. праць. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2011. – № 2 (11). – С. 6–9. **19.** Сіянов О. І. Металеві циліндричні стержневі покриття: конструювання та розрахунок : монографія / О. І. Сіянов. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 140 с. **20.** Сіянов О. І. Вплив розташування опорних ферм на роботу металевих циліндричних сітчастих покриттів / О. І. Сіянов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 1. – С. 27–30. **21.** ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінбуд України. – К. : Вид-во «Сталь», 2006. – 60 с. **22.** Сіянов О. І. Особливості моделювання дії рухомого снігового навантаження на покрівлю циліндричних сітчастих покриттів / О. І. Сіянов // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2014. – Вип. 29. – С. 499–505. **23.** Пановко Я. Г. Механика деформируемого твердого тела: современные концепции, ошибки и парадоксы / Я. Г. Пановко. – М. : Наука, 1985. – 288 с. **24.** 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. **25.** 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.