

## **АНАЛІЗ ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ СНІГОВОЇ ЛАВИНИ**

Виконано аналіз руху та розрахунок гранично максимальних значень швидкості сходження снігової лавини.

**Ключові слова:** снігова лавина, кут нахилу, швидкість, снігозбірна зона.

Выполнено анализ движения и расчет предельно максимальных значений скорости схода снежной лавины.

**Ключевые слова:** снежная лавина, угол наклона, скорость, зона снегозбора.

The analysis of motion and the calculation of the limit maximum values of speed snow avalanches were performed.

**Keywords:** snow avalanche, angle, speed, runout zone.

**Вступ.** У великій кількості сніг представляє велику небезпеку. У гірських районах часто виникають снігові лавини. Лавина починається із маленького «джерела» снігу на схилі гори, який через деякий час перетворюється на стрімкий потік, який рухаючись на своєму шляху захоплює сніг, дерева, каміння і звалюється на пологі ділянки чи на дно долини. Для того, щоб зі схилу зійшла снігова лавина, необхідно сукупність метеорологічних умов: випадання інтенсивних снігових опадів, різкий перепад температури, посилення вітру. Часті снігопади та відлиги, а також значні площі крутих схилів обумовлюють високу частоту сходження лавин в Українських Карпатах. У гірських районах при снігопадах можливий приріст снігового покриву до 40 см і більше, і це при крутизні схилу 20-40° та глибині розчленування рельєфу, що в окремих районах сягає 800-1000 м. У таких місцях формуються лавини з довжиною пробігу понад 3 тис. м, які є надзвичайно потужними внаслідок величезної маси захопленого снігу.

### **Постановка задачі**

Снігові лавини є спільною небезпекою, що досліджуються у багатьох гірських місцевостях по всьому світу протягом зимових місяців. Тому часто виникає необхідність у тому, щоб передбачити ці події, для зменшення небезпеки, яку вони спричиняють населенню та інфраструктурі.

Найкращий захисник від снігової лавини – ліс. Деревина перешкоджають утворенню лавини, перехоплюючи снігопади, і знижуючи темпи вітру, що переносить сніг, крім того, допомагають регулювати кількість вхідного та вихідного випромінювання, обмежуючи формування слабких шарів снігу. Тому необхідно зберігати ліс на схилах і відновлювати його там де він був знищений лавиною.

У статті розглядається снігова лавина, яка зійшла з вершини гори Поленський 24 березня 2006 року і знищила значну частину лісу у природному заповіднику «Горгани» (рис.1).

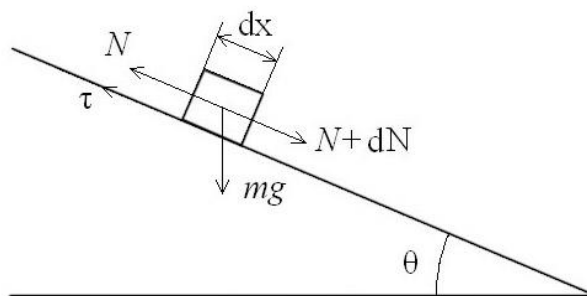
Метою даної роботи ставиться аналіз руху та швидкості сходження снігової лавини по схилу.



**Рис. 1 – Фото пошкодженого сніговою лавиною лісу у природному заповіднику «Горгани»**

### Виклад основного матеріалу

Розглянемо фізичну модель снігової лавини. Представимо її як тверде тіло, яке рухається під дією сили тяжіння по похилій площині.



**Рис. 2 – Модель снігової лавини**

Рівновага сил нескінченно малих елементів снігового шару довжиною  $dx$  вимагає рівності [1]:

$$F_m + F_{oc.zyc.} + F_{зчен} = 0, \quad (1)$$

де  $F_m, F_{oc.zyc.}, F_{зчен}$  – сила тяжіння, осьове зусилля у перерізі і сила зчеплення відповідно.

При виконанні рівності (1) забезпечується стабільність снігових мас на схилі у стартовій зоні. Згідно рис. 2 рівняння (1) для нескінченно малих елементів снігового шару довжиною  $dx$  буде мати вигляд.

$$mg \sin \theta + \frac{N + dN - N}{dx} dx - \tau dx = 0, \quad (2)$$

де  $m$  – маса лавини,  $\theta$  – кут нахилу схилу,  $g$  – прискорення сили тяжіння,  $w$  – ширина лавини,  $\tau$  – зсувне напруження.

Розглянемо простий аналіз сили снігової лавини, нехтуючи силою зчеплення часток снігу. У випадку сходження снігової лавини, її сила  $F$  на певному відрізку шляху  $S$  має вигляд:

$$F = mg \sin \theta. \quad (3)$$

Робота, виконана лавиною на цьому ж шляху  $S$  буде:

$$A = \int_0^{S_m} F dS, \quad (4)$$

де  $S$  – довжина шляху,  $S_m$  – довжина шляху до точки досягнення максимальної швидкості.

Згідно теореми про кінетичну енергію, загальна робота, виконана під впливом сили тяжіння на довжині шляху до точки досягнення максимальної швидкості буде дорівнювати кінетичній енергії лавини на максимальній швидкості.

Прирівнюючи кінетичну енергію і роботу, виконану під дією сили тяжіння отримуємо:

$$\frac{m_0 u_0^2}{2} = \int_0^{S_m} m g (\sin \theta) dS. \quad (5)$$

З рисунку 2  $\sin \theta = \frac{h_0}{dS}$ , таким чином рівняння (5) буде мати вигляд:

$$u_0^2 = 2 \frac{\bar{m}}{m_0} g h_0, \quad (6)$$

де в данному випадку  $h_0$  – перепад висот на шляху снігової лавини до точки з максимальною швидкістю,  $m_0$  – початкова маса лавини,  $\bar{m}$  – середнє значення маси на шляху  $S_m$ .

Враховуючи, що під час руху снігової лавини її маса лінійно зростає по висоті в інтервалі від 0 до  $h_0$ , використаємо просту модель масового захоплення, запропоновану, D. M. McClung [2].

$$m_y = m_i \left( 1 + \frac{N}{h_0} \right), \quad (7)$$

де  $N$  – ступінь збільшення маси.

У рівнянні (7), якщо  $N = 1$ , то маса лавини подвоюється у заданому інтервалі, і якщо,  $N = 9$  – маса збільшується у 10 разів.

Після підстановки, рівняння (6) буде мати вигляд

$$u_0^2 = g h_0 \left( \frac{N+2}{N+1} \right). \quad (8)$$

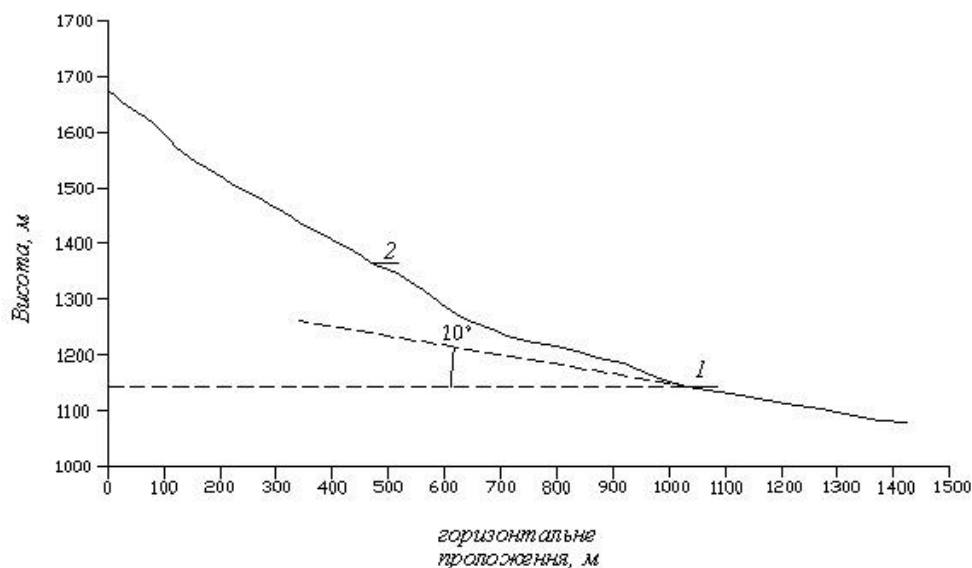
Розглянемо деякі крайні межі рівняння (8).

1. Припускаємо, що маса снігової лавини не збільшується, тоді:  $N = 0; u_0 = 4,4\sqrt{h_0}$

2. Припускаємо, що маса снігової лавини подвоюється, тоді:  $N = 1; u_0 = 3,8\sqrt{h_0}$

3. Припускаємо, що маса снігової лавини збільшується у 10 разів:  $N = 9; u_0 = 3,3\sqrt{h_0}$ .

Відомо, що на своєму шляху снігова лавина досягає максимальної швидкості до точки початку снігозбірної зони, у якій швидкість зменшується і рух лавини припиняється. Згідно [3, 4] снігозбірна зона починається у точці, де кут нахилу схилу зменшується до  $10^\circ$  (рис.3).



**Рис. 3 – Профіль схилу на шляху сходження снігової лавини з вершини гори Поленський ( 1 – точка досягнення снігозбірної зони; 2 – межа лісу)**

Згідно рис. 3 перепад висот на шляху лавини до точки досягнення максимальної швидкості складає приблизно 500 метрів. Це значення перепаду висот підставляємо у рівняння (8). У першому випадку, коли не відбувається захоплення мас снігу швидкість лавини дорівнює – 98 км/год, у другому випадку – 85 км/год, у третьому випадку – 74 км/год.

Беручи до уваги, що при перепаді висот 300 метрів снігова лавина досягла межі лісу, то у цій точці максимальні швидкості приймають значення 76 км/год, 66 км/год, 57 км/год відповідно.

**Висновки.** На рух снігової лавини на шляху сходження безпосередньо впливає рельєф схилу, а саме кут нахилу та кривизна. Оскільки при розрахунках знехтували силами зчеплення часток снігу з поверхнею ковзання, то снігову лавину прирівнюємо до повітряної, яка є більш руйнівною. Отримані значення швидкості снігової лавини є гранично максимальними і можуть бути використані при проектуванні захисних споруд для будівельних об'єктів та лісових насаджень на гірських схилах.

#### Література

1. Konstantinidis A. Application of Gradient Theory and Quantized Fracture Mechanics in Snow Avalanches / A. Konstantinidis, P. Cornetti, N. Pugno, E.C. Aifantis // Journal of the Mechanical Behavior of Materials. – 2009. – Vol. 19 – N 1. – P. 39-47.
2. McClung, D. M. Simulation of a destructive avalanche at Maseguchi, Japan / D. M. McClung, S. Kobayashi, K. Izumi // Annals of Glaciology – 1993. – N18. – P. 17-21.
3. McClung, D. M., and P. A. Schaerer, The Avalanche Handbook / D. M. McClung, P. A. Schaerer // The Mountaineers. – Seattle, Wash., 1993.
4. Decaulne A. Extreme runout distance of snow-avalanche transported boulders linked to hazard assessment; some case studies in Northwestern and Northern Iceland / A. Decaulne, P. Sæmundsson, H. P. Jónsson // International Symposium on Mitigative Measures against Snow Avalanches Egilsstaðir, Iceland, March 11–14, 2008.

*Поступила в редакцію 12.04. 2012р.*