

УДК 528.7

АНАЛІЗ ШЛЯХУ ТА ШВИДКОСТІ СХОДЖЕННЯ СНІГОВОЇ ЛАВИНИ

Р. Рудий, К. Підлуська

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Ключові слова: рельєф, снігова лавина, швидкість, сила тертя

Постановка задачі

Українські Карпати містять третину лісових запасів нашої держави, лісистість цієї території – одна з найвищих в Україні. Тут ростуть понад 2000 видів квіткових рослин та багато цінних порід дерев. Проте протягом останніх десятиліть Карпати зазнають все більше втрат. Карпатські ліси перебувають під загрозою знищення не лише від лісорозробок, але й внаслідок стихійних лих, до яких належать снігові лавини.

Снігові лавини, зсуви, селі є одними з небезпечних природних процесів, великою перешкодою під час будівництва цивільних і промислових будівель, доріг, освоєння земель і видобутку корисних копалин. Вони можуть бути серйозною небезпекою для життя людей. Сила лавини – велика, одразу може завалитися кілька мільйонів тонн щільно стиснутого за зиму снігу. Для механічного удару лавини характерна ударна хвиля, яка знищує все на своєму шляху. Захист від подібних стихійних лих природного характеру протягом тривалого періоду залишається однією з суттєвих проблем населення гірських територій. Здійснення заходів з інженерного захисту територій та об'єктів не завжди доцільне й економічно виправдане. Тому вивчення руху снігових лавин та прогнозування розвитку цих процесів є актуальними і практично значущими.

Мета статті – проаналізувати особливості рельєфу та розглянути кінематичні параметри снігової лавини, яка зійшла з-під гори Поленський і стала найбільш руйнівною лавиною за останні десять років в Українських Карпатах.

Виклад основного матеріалу

Сходження снігових мас зі схилів відбувається під дією сили тяжіння. З моменту утворення снігової товщі і аж до її руйнування усередині на контакті з навколишнім середовищем проходять складні процеси. Вони можуть вести як до стабілізації снігу на схилах, так і до виникнення ослаблених шарів у сніговій товщі і зон нестійкості на схилах, порушення яких дають початок сходу снігових лавин. Очевидно, що для утворення лавини потрібен такий схил, на якому сніг може накопичуватись. Згідно з [1, 2] немає ідеальних верхніх і нижчих меж для кута нахилу, який часто змінюється, залежно від точного місцеположення і умов, проте існують принципи (табл. 1). Рельєф поверхні відіграє істотну роль у зародженні та сходженні снігової лавини. Як видно з публікацій, нахил, який вважається оптимальним, для сходження лавини, – в межах між 30° і 60° у стартовій зоні. Як тільки почалось сходження лавини, нахил може зменшитись до 15°, але, досягнувши нахилу менш ніж 15°, лавина швидко сповільнюється і зупиняється.

Таблиця 1

Дані стартової зони схилу, згідно з [1]

Кути нахилу	Тип лавини
10°-25°	нечасті мокрі лавини снігу і селеві потоки
25°-35°	нечасті (але великі) плитні лавини, мокрий пухкий сніг
35°-45°	плитні лавини всіх розмірів
45°-55°	часта маленька плитна лавина
30°-60°	вільна снігова суха лавина
60°-90°	лавини трапляються рідко, малосніжні з можливою глинистою шкіркою

Рельєф місцевості, де зароджувалась та сходила в 2006 р. ця снігова лавина, показано на рис. 1 і 2. Цю лавину з північного схилу гори Поленський можна зарахувати до типу лавин, вказаних у другому рядку табл. 1.



Рис. 1. Шлях снігової лавини (північний схил гори Поленський)

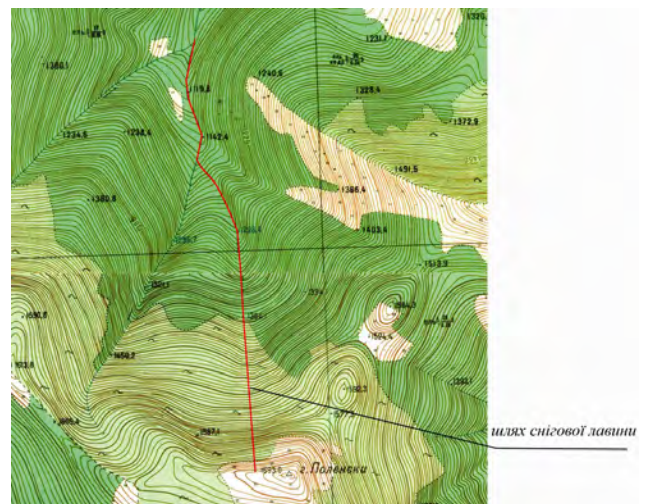


Рис. 2. Фрагмент топографічної карти (північний схил гори Поленський)

Прості моделі снігових лавин розроблено вже близько ста років тому. При цьому лавину представляли такими її чинниками, як шлях проходження, маса, тиск, швидкість тощо [3]. Самі ж моделі сходження лавин можна розділити на два основних типи: моделі лавин, що сповзають по похилій площині, і моделі лавин, що проносяться в повітрі на певній відстані над землею. Крім того, існують й інші класифікації. Часто реальні снігові лавини мають змішаний характер “повітряних” і таких, що “сповзають”.

За пізнішими публікаціями з цієї теми [3] стабільність снігового покриву визначається такими параметрами: рельєфом місцевості (ухил та експозиція схилу, пересіченість чи жорсткість поверхні схилу, крутизна та кривина стартової зони); погодними умовами: вітер, вік снігу (свіжий, застарілий), дощ, вологість повітря, структура снігу.

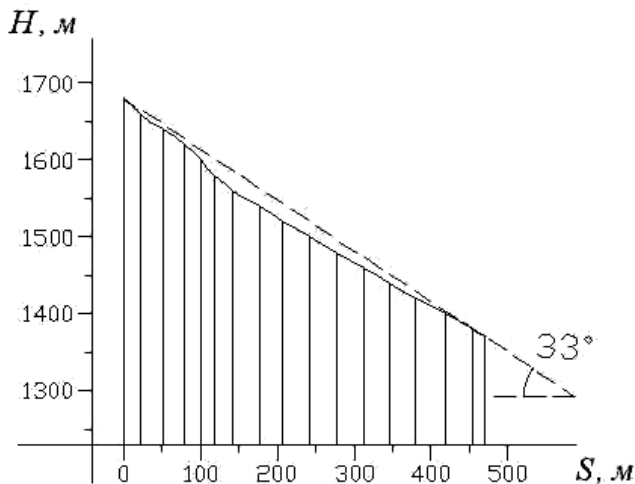


Рис. 3. Профіль шляху лавини до досягнення межі лісу

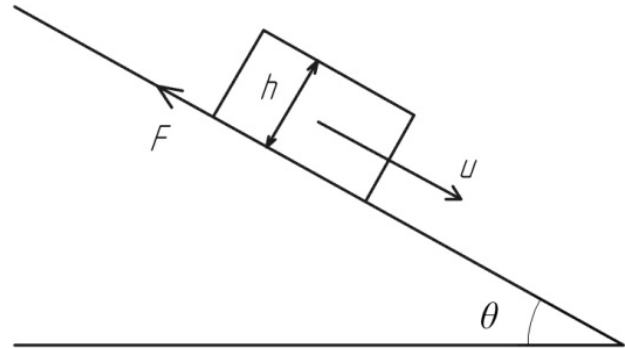


Рис. 4. Параметри снігової лавини

Лавини, що сповзають, у моделях подаються твердим тілом, яке рухається по похилій площині. Швидкість лавини визначається миттєвим рівнянням [3]

$$\frac{du}{dt} = g \sin \theta - \frac{F}{m}, \quad (1)$$

Де m – маса снігової лавини; u – швидкість; F – сила тертя; θ – середнє значення ухилу шляху.

Звідси сила тертя для снігової лавини виразиться так

$$F = mg \sin \theta - \frac{du}{dt} m. \quad (2)$$

У цій моделі снігову лавину подано як об’єкт, що сповзає по похилій площині з силою тертя, що складається з твердого компонента ζ , який залежить від характеру снігу, і компонента квадрата швидкості μ , який залежить від характеру шляху, по якому рухається лавина. Коли ввести змінні μ і ζ

$$F = mg \frac{u^2}{\zeta h} + \mu mg \cos \theta, \quad (3)$$

де h – середнє значення глибини течії лавини; ζ – коефіцієнт, що залежить від текучості снігу; μ – коефіцієнт, що залежить від жорсткості шляху.

Таблиця 2

Швидкість снігової лавини при $h=5$ м

$\theta = 33^\circ$			$\theta = 30^\circ$			$\theta = 25^\circ$			$\theta = 20^\circ$			$\theta = 15^\circ$		
μ	ζ	u	μ	ζ	u	μ	ζ	u	μ	ζ	u	μ	ζ	u
0,155	400	28,9	0,155	400	27,0	0,155	400	23,8	0,155	400	19,8	0,155	400	14,8
0,400	400	20,4	0,400	400	17,5	0,400	400	11,0	0,36	400	2,7	0,265	400	2,4
0,155	500	32,2	0,155	500	30,2	0,155	500	26,6	0,155	500	22,2	0,155	500	16,5
0,400	500	22,9	0,400	500	19,6	0,400	500	12,3	0,36	500	3,0	0,265	500	2,7
0,155	600	35,3	0,155	600	33,1	0,155	600	29,1	0,155	600	24,3	0,155	600	18,1
0,400	600	25,1	0,400	600	21,5	0,400	600	13,4	0,36	600	3,4	0,265	600	2,9
0,155	700	38,1	0,155	700	35,8	0,155	700	31,4	0,155	700	26,2	0,155	700	19,5
0,400	700	27,1	0,400	700	23,2	0,400	700	14,5	0,36	700	3,6	0,265	700	3,2
0,155	800	40,7	0,155	800	38,3	0,155	800	33,6	0,155	800	28,0	0,155	800	20,9
0,400	800	28,9	0,400	800	24,8	0,400	800	15,5	0,36	800	3,9	0,265	800	3,4
0,155	900	43,2	0,155	900	40,6	0,155	900	35,6	0,155	900	29,7	0,155	900	22,2
0,400	900	30,7	0,400	900	26,3	0,400	900	16,4	0,36	900	4,1	0,265	900	3,6
0,155	1000	45,5	0,155	1000	42,8	0,155	1000	37,6	0,155	1000	31,3	0,155	1000	23,4
0,400	1000	32,3	0,400	1000	27,7	0,400	1000	17,3	0,36	1000	4,3	0,265	1000	3,8

Останні два параметри не можна визначити прямо і їх, в основному, визначають опосередковано. Коефіцієнт μ залежить від розмірів лавини і може змінюватись від 0,4 для малих лавин до 0,155 для великих лавин. Динамічний коефіцієнт ξ визначається шляхом, по якому сходять лавина. Якщо лавина рухається широким відкритим схилом, то $\xi = 1000$ чи більше і, навпаки, якщо лавина рухається у вузькій ущелині, $\xi = 400$.

В усталеному стані, коли прискорення відсутнє, з (1) і (3) швидкість снігової лавини, що сповзає, визначається рівнянням:

$$u = \sqrt{\xi h \cos \theta (\tan \theta - \mu)}. \quad (4)$$

З цього рівняння видно, що залежно від кута нахилу місцевості та коефіцієнта, що характеризує стан снігового покриву чи коефіцієнта, що залежить від жорсткості шляху, швидкість снігової лавини зростає чи спадає, чи залишається сталою. Розраховані значення швидкості лавини, що сходила з північного схилу гори Поленський в 2006 р., наведено в табл. 2 залежно від трьох параметрів при значенні $h = 5$ м.

З таблиці видно, що швидкість може змінюватись у межах від 20 м/с до 45 м/с за середнього нахилу схилу 33° (рис. 3). У разі зменшення кута нахилу до 15° швидкість снігової лавини спадає до 2 м/с і припиняється рух лавини при $\mu=0,27$ (рівняння (4) не має розв'язку).

Висновки

Снігова лавина, яка зійшла з вершини гори Поленський до досягнення лісу пройшла відстань близько 500 метрів, і 900 метрів, захоплюючи на своєму шляху дерева.

Швидкість та сила снігової лавини, яка може знищити лісові насадження та об'єкти, що опинились на її шляху, істотно визначаються рельєфом місцевості, тобто коефіцієнтом μ .

Наведені в таблиці розрахунки можна використати для проектування захисних споруд для будівельних об'єктів та лісових насаджень на гірських схилах.

Література

1. McClung D.M., Schaerer P.A. The Avalanche Handbook // The Mountaineers, Seattle, Wash., 1993.
2. McClung D.M., Kobayashi S., Izumi K. Simulation of a destructive avalanche at Maseguchi, Japan // Annals of Glaciology 18 1993, 17–21.
3. Ancey C., Meunier M. Richard D. Inverse problem in avalanche dynamics models // Water Resour. Res., 39(4), 1099, doi:10.1029/2002WR001749, 2003.

Аналіз шляху та швидкості сходження снігової лавини

Р. Рудий, К. Підлуска

Встановлено залежність швидкості сходження снігової лавини від рельєфу місцевості. Виконано розрахунок значення швидкості сходження снігової лавини за різних її параметрів.

Анализ пути и скорости схода снежной лавины

Р. Рудый, Е. Пидлуская

Установлена зависимость скорости схода снежной лавины от рельефа местности. Выполнен расчет значения скорости схода снежной лавины при различных ее параметрах.

Analysis of the path and velocity of snow avalanche

R. Rudy, K. Pidluska

In the article the dependence of velocity of snow avalanche on the relief terrain was established. The calculation of the value of the velocity of snow avalanche at different parameter was performed.

Для всіх геодезистів



Островський А.Л. • 50,9
ГЕОДЕЗИЯ. Частина перша. Топографія
Навчальний посібник / А.Л. Островський, О.І. Мороз, З.Р. Тартачинська, І.Ф. Гарасимчук.
Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. 440 с. ISBN 978-617-607-081-8

- загальні відомості з топографії
- сучасні дані про форму та розміри Землі
- найпростіші прилади вимірювання на місцевості
- будова і перевірки технічних теодолітів
- роботи в горизонтальному, та ветрикальному зніманні
- основи тахеометричного, мензуального знімання

Островський А. Л.
ГЕОДЕЗИЯ
Підручник. Частина друга / А. Л. Островський, О. І. Мороз, В. Л. Тарнавський.
Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2008. 564 с. ISBN 978-966-553-820-2

- теорія електронних приладів
- методи супутникової геодезії
- найсучасніші автоматизовані прилади та методи створення геодезичної основи карт знімання територій