



УДК 625.712

DOI: 10.35803/1694-5298.2020.2.206-210

**СТАСЕНКО Л.Н., РАДЖАПОВА Н.А., РЫСБЕКОВ А.Ш., САДЫКОВ Н.З.,
АЙДАРБЕК У. А.**

¹КГУСТА им. Н. Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика

**STASENKO L.N., RADGAPOVA N.A., RISBEKOV A.SH., SADIKOV N.Z.,
AYDARBEK U. A.**

¹KSUCTA n.a. N. Isanov, Bishkek, Kyrgyz Republic
(e-mail: ln.stasenko@list.ru radzhapova.52@mail.ru)

ОЦЕНКА КРИТИЧЕСКОГО УКЛОНА ЛАВИНООПАСНОГО ГОРНОГО СКЛОНА ASSESSMENT OF CRITICAL SLOPE OF AVALANCHE – HAZARDOUS MOUNTAIN SLOPE

Кар көчкүлөрүнүн пайда болушунун милдеттүү шарттарынын бири болуп тоо боорунун белгилүү жантаюусу эсептелет. Макалада тоонун боорундагы кар катмарына таасир эткен күчтөр, анын сырткы күчтөрдү эске албагандагы тең салмактагы абалы жана мүмкүн болгон жылыш шарттары аныкталган. Тоо боорунун кескин жантаюусу эсептелген.

Өзөк сөздөр: көчкү, жантайма, кескин жантаюу, тоонун боору, чукул кыйшаюу, сүрүлүү күчү, көчкү пайда болуу шарты, терраса.

Одним из обязательных условий образования снежных лавин, является наличие определенного уклона горного склона. В статье рассмотрены определение сил, действующие на снежный пласт, расположенный на горном склоне, условия его равновесия и возможного сдвига, без учета внешних сил. Выполнен расчет критической крутизны горного склона.

Ключевые слова: лавина, уклон, критический уклон, горный склон, крутизна склона, сила трения, условие лавинообразования, терраса.

One of the mandatory conditions for the formation of snow avalanches is the presence of a certain slope of the mountain slope. The forces acting on a snow layer located on a mountain slope, the conditions of its equilibrium and possible shift without taking into account external forces are considered in the article. The critical slope steepness is calculated.

Key words: avalanche, slope, critical slope, mountain slope, critical slope steepness, friction force, avalanche conditions, terraces.

Снежные лавины наносят огромный материальный и моральный ущерб, причиняют значительный вред здоровью людей. Их образование и сход возможны в местах, где есть относительно крутые горные склоны и достаточная толщина снежного покрова.

Снег обладает очень низкой стабильностью и как следствие имеется большое число факторов и условий, приводящих в движение снежный пласт и способствующих его сходу с горного склона. В частности, одним из обязательных условий образования снежных лавин, является наличие определенного уклона горного склона. Иначе говоря, первостепенным условием лавинообразования является крутизна горного склона. Все остальные составляющие, вне зависимости от степени их воздействия на снежную массу, в том числе и метеоусловия, вполне можно отнести к вторичным факторам.

Соответственно изменяя критическую величину уклона склона искусственным путем, мы имеем возможность предупредить либо как минимум значительно уменьшить объем сходящей снежной массы и тем самым смягчить разрушительные последствия схода лавин.

Рассмотрим силы, действующие на снежный пласт, расположенный на горном склоне. Одна из них $F_{ст}$ направлена вниз по склону, параллельно ему, увлекая за собой тело, в нашем случае – снежный пласт. Указанная сила напрямую зависит от силы тяжести и следовательно от толщины снежного покрова – с увеличением последней, возрастает сила $F_{ст}$.

Сталкивающей или сдвигающей силе противодействуют сила сцепления с грунтом или снегом и сила трения $F_{тр}$, удерживающие пласт на склоне и нормальная составляющая силы тяжести $F_{нд}$.

$F_{ст}$ – горизонтальная составляющая силы тяжести, стремящаяся привести тело в движение, возрастает с увеличением массы тела и его плотности и рассчитывается по формуле 1.

$$F_{ст} = F_T \sin\alpha \quad (1)$$

где F_T – сила тяжести, α – угол наклона склона.

В свою очередь, сила тяжести равна весу тела P

$$F_T = P = mg \quad (2)$$

где m – масса тела, g – ускорение свободного падения.

Таким образом, получаем:

$$F_{ст} = mg \sin\alpha \quad (3)$$

Нормальная составляющая силы тяжести $F_{нд}$, перпендикулярная склону, определяется по формуле:

$$F_{нд} = mg \cos\alpha \quad (4)$$

Сила трения покоя и сила трения скольжения пропорциональны модулю силы нормального давления N , которая прижимает трущиеся поверхности, и определяются с помощью выражения:

$$F_{тр} = \mu N \quad (5)$$

где μ безразмерный коэффициент трения (покоя или скольжения), зависящий от состояния поверхностей трущихся тел; для движения снежной поверхности, коэффициент изменяется в пределах $0 < \mu < 1$.

Модуль силы нормального давления N (сила реакции опоры) всегда направлен перпендикулярно направлению движения, равен он нормальной составляющей силы тяжести, но направлен в противоположную сторону, то есть:

$$N = F_{нд} = mg \cos\alpha \quad (6)$$

а сила трения соответственно:

$$F_{тр} = \mu mg \cos\alpha \quad (7)$$

Сила трения по величине всегда меньше силы реакции опоры и направлена в сторону, противоположную возможному движению.

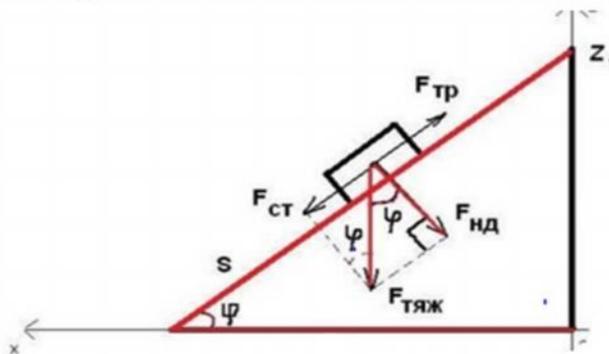


Рис. 1. Силы, действующие на тело, расположенное на наклонной плоскости

Рассмотрим условия, при которых тело, расположенное на наклонной плоскости, находится в покое. Используем законы механики (рис. 1).

Итак, если тело находится в покое, значит силы, воздействующие на него уравновешивают друг друга или сила трения $F_{тр}$ и нормальная составляющая силы тяжести $F_{нд}$ превышают сталкивающую силу $F_{ст}$, то есть имеет место неравенство:



$$F_{тр} + F_{нд} \geq F_{ст} + N \quad (8)$$

Подставляя в уравнение значения сил, получим:

$$\mu mg \cos \varphi + mg \cos \varphi \geq mg \sin \varphi + mg \cos \varphi \quad (9)$$

$$\mu mg \cos \varphi \geq mg \sin \varphi \quad (10)$$

$$\mu \cos \varphi \geq \sin \varphi \quad (11)$$

$$\mu \geq \operatorname{tg} \varphi \quad (12)$$

Таким образом мы получаем, что для равновесия массы снега на поверхности склона, тангенс угла наклона склона не должен превышать величину коэффициента трения. При равенстве указанных величин достаточно малейшего внешнего воздействия для начала движения снежной массы. В том случае, если коэффициент трения будет ниже величины $\operatorname{tg} \varphi$, снежная масса приходит в движение.

Определим критическую величину уклона горных склонов для различных условий сдвига, а так же и возможную высоту снежного покрова, вызывающую ее обрушение и зависящую от крутизны склона.

$$\square \square \frac{\square}{\gamma_{\text{св}} \varphi_{\text{св}} \rho \varphi \square \square \varphi_{\text{св}} \varphi_{\text{н}}} \quad (13)$$

где C – внутреннее сцепление снега, γ – объемный вес его.

Расчет ведем по формулам 12 и 13 в табличной форме.

Таблица 1 - Критическая крутизна склонов для различных условий сдвига

№п/п	Условия сдвига	Коэффициент трения μ	Сила сцепления $F_{нд}$ кг/м2	$\operatorname{tg} \varphi$	Крутизна склона φ
1	Свежевыпавший снег по слежавшемуся	0,44	36,2	0,44	24°
2	Снег при плотности $\gamma=250$ по снегу при $\gamma=400$	0,49	262	0,49	26°
3	Снег при плотности $\gamma = 400$ по более плотному снегу	0,53	1390	0,53	28°
4	Фирновый снег по фирновому	0,54	400	0,54	28°-29°
5	Мокрый фирновый снег поверхности земли	0,59	125	0,59	30,3°

Примечание: под критической крутизной склонов понимаем величину, превышение которой при наличии неблагоприятных факторов может привести к образованию и сходу лавин.

Таблица 2 - Высота снежного покрова, в зависимости от крутизны склона и условий сдвига

№ п/п	Условия сдвига	Сила сцепления $F_{нд}$ кг/м2	Крутизна склона φ°	Объемный вес снега γ кг/м ³	$\operatorname{tg} \varphi$	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	высота снежного покрова h м
1	Свежевыпавший снег по слежавшемуся	36,2	24	100	0,44	0,915	0,4	1,5
2	Снег при плотности $\gamma=250$ по снегу при $\gamma=400$	262	26	250	0,49	0,89	0,44	1,16
3	Снег при плотности $\gamma = 400$ по более плотному снегу	1390	28	400	0,53	0,88	0,46	0,79



4	Фирновый снег по фирновому	400	29	500	0,54	0,88	0,48	1,62
5	Мокрый фирновый снег поверхности земли	125	30,3	500	0,59	0,86	0,51	0,58

Анализ данных таблиц показывает, что лавинообразование наиболее вероятно при крутизне склонов более 25° - 30°, в зависимости от состояния снега. Толщина же снежного покрова, при которой нарушается равновесие снежной массы, помимо уклона склона, во многом определяется ее состоянием, такими характеристиками, как объемный вес снега, сила внутреннего сцепления. Причем стоит отметить, что свойства снега сильно зависят от метеоусловий.

Если на сдвиг снежной массы оказывают основное влияние метеоусловия, то объемы лавин определяются площадью лавиносборов и крутизной склонов. Изменяя критическую величину уклона склона искусственным путем, мы имеем возможность предупредить либо как минимум значительно уменьшить объем сходящей снежной массы и тем самым смягчить разрушительные последствия схода лавин.

К лавинопредотвращающим мероприятиям относятся действия, регулирующие распределение снежной массы на опасных участках. В число таких приемов входит и устройство искусственных террас на склонах.

Террасы – это ступени на горных склонах крутизной до 35°, прерывающие снежный покров, тем самым сокращая площадь лавиносбора и уменьшая размер лавины..

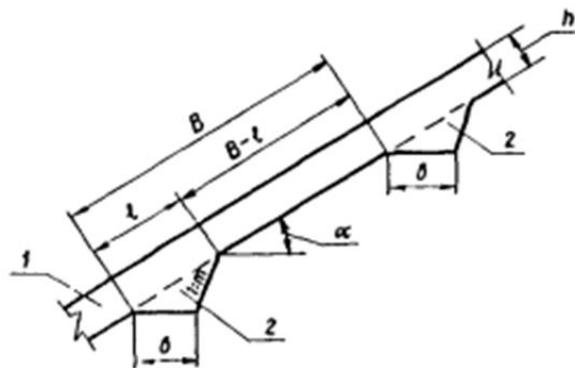


Рис.2. Возможное расположение террас

Ширина полки террасы зависит от высоты снежного покрова на склоне и принимается равной от 1,5 h₀ до 1,8 h₀, (большее значение - для сыпучего снега), но во всех случаях не менее 3 м. Для предотвращения схода снежной массы с полки, ее поверхность желательно делать с уклоном до 40 промилей в сторону горы.

Формула для определения расстояния между террасами определяется по формуле

$$L_m = \frac{b_m}{\cos \alpha \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}\right)} + \Delta L_m, \quad (14)$$

где b_m – ширина полки террасы, м; α – угол наклона склона в месте устройства террасы, град.; β – угол нагорного откоса террасы, град., который зависит от грунтов склона и принимается равным 90° для скальных пород и 45 ° для рыхлых грунтов; ΔL_m – расстояние между верхней бровкой нижней террасы и нижней бровкой верхней террасы, обычно изменяется в диапазоне от 2 м до 4 м.



$$L = 3:0,91(1-0,47)+2=8 \text{ м при ширине полки 3 метра}$$

$$L = 6:0,87(1-0,58)+4=20 \text{ м при ширине полки 6 метров}$$

То есть, согласно проведенному расчету, расстояние между террасами изменяется в пределах от 8 м до 20 м.

Устройство террас на лавиноопасных склонах способствует снижению объема лавины, так как часть снежной массы оседает на полках террасы, помимо этого сокращается площадь лавиносбора. Чем больше ширина полки, тем больше объем снега задерживаемый террасой. В этой массе снега происходит сложный процесс вихреобразного движения снега, которое приводит к гашению кинетической энергии снежной гущи. Поэтому снежная масса после соударения с препятствием уже имеет малую скорость и соответственно меньшую максимальную приведенную кинетическую энергию.

Список литературы

1. Божинский А.Н. Статистическое моделирование напряженного снежного покрова на склоне гор [Текст] / А.Н.Божинский, Г.А.Черноус // Материалы гляциологических исследований. — М.: 2005.
2. Божинский А.Н. О размещении снегоудерживающих противолавинных сооружений на склонах гор [Текст] / А.Н.Божинский. // Хроника обсуждения / МГИ. - М.:1972. - Вып. 20.
3. Байнатов Ж.Б. Защита автомобильных дорог от снежных лавин [Текст] / Ж.Б.Байнатов, Э.П.Исаенко // Автомоб. дороги: Обзорн. Информ. Информавтодор. - М.: 1993.
4. Кочеткова К.Е. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация [Текст] / К.Е.Кочеткова, К.Е. Котельникова, А.Б.Забегаяева // Ассоциация строит. ВУЗов. - М.: 2004.
5. Кокоев М.Н. Поиск новых методов защиты дорог от снежных лавин [Текст] / М.Н.Кокоев // Наука и техника в дор. отрасли. - 1998. - № 1 - С. 16-17.
6. Кортиев Л. И., Кортиев А. Л., Тедеев А. Г. Проблемы безопасного транспортного освоения горных территорий в условиях стихийных явлений [Текст] / Л.И.Кортиев, А.Л.Кортиев, А.Г.Тедеев // Журнал Устойчивое развитие горных территорий. —Владикавказ: 2013. - № 3 (17). - с.25-27.
7. Мурадов Х.Я., Богатиков В.Н. Оптимизация трассы автомобильной дороги на оползнеопасных горных склонах [Текст] / Х.Я. Мурадов, В.Н.Богатиков / МАДИ (ТУ). - М.: 1999. - с.10.
8. Соловьев А.С. Математическое моделирование поведения снежной массы на горном склоне [Текст] / А.С.Соловьев, О.М.Лебедев, А.В.Калач // Вестник ВГТУ. - 2011. - №4.
9. Соловьев А.С., Калач А.В. Представление поверхности склона в модели схода снежной лавины.. [Текст]./ А.С.Соловьев, А.В.Калач / Вестник Воронежского института МВД России. — Воронеж : 2012. -№4. —с.92-97.
10. А.С. Соловьев, О.М. Лебедев, А.В. Калач, В.А. Логинов Ослабление поражающего действия снежной лавины путем установки искусственных препятствий [Электронный ресурс] Интернет-журнал Технологии техносферной безопасности. — 2011. - Выпуск №1(35).
11. <http://www.vseozemle.ru>.
12. <http://www.raar.ru>.
13. <http://www.snowavalanche>.