

# О расчете давления лавины на препятствие в низкогорье и высокогорье на примере Сахалина и Западного Кавказа

*Avalanche pressure on obstacles in low-hill and high-mountain terrains by the example of Sakhalin and Western Caucasus*

**КАЗАКОВА Е.Н.**

Младший научный сотрудник лаборатории лавинных и селевых процессов Сахалинского филиала Дальневосточного геологического института (ДВГИ) ДВО РАН, аспирант ДВГИ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, enk99@mail.ru

**KAZAKOVA E.N.**

A junior researcher of the Laboratory of avalanche and mudflow processes of the Sakhalin Branch of the Far Eastern Geological Institute of the FEB RAS, a postgraduate student of the Far Eastern Geological Institute of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, enk99@mail.ru

**Ключевые слова:** снежная лавина; лавинная опасность территории; давление лавины на препятствие; динамика лавины

**Аннотация:** одной из важнейших определяемых характеристик при решении прикладных задач по разработке мероприятий противолавинной защиты является давление лавины на препятствие, определяющее уязвимость сооружения при воздействии на него лавинного тела и снеговоздушного облака. В работе сравниваются значения пикового давления лавины на препятствие, рассчитанные по наиболее часто используемым методикам для лавин, сошедших на Сахалине (в низкогорье) и на Западном Кавказе (в высокогорье).

**Key words:** avalanche; avalanche hazard of a territory; avalanche pressure; avalanche dynamic.

**Abstract:** the avalanche pressure on an obstacle is one of the major characteristics estimated to solve applied problems of developing anti-avalanche protection measures. It determines the vulnerability of a construction under impact of the avalanche body and snow-air cloud. The article compares some values of the peak avalanche pressure on an obstacle calculated using the most common methods for some avalanches of Sakhalin (low-hill terrains) and Western Caucasus (high-mountain terrains).

## Введение

При решении прикладных задач по разработке мероприятий противолавинной защиты одной из важнейших определяемых характеристик является давление лавины на препятствие. Оно определяет уязвимость сооружения при воздействии на него лавинного тела и снеговоздушного облака. Экспериментально измеренные значения давления лавины на препятствие составляют до 300 т/м<sup>2</sup> (Япония) и 110 т/м<sup>2</sup> (Хибины).

Как известно, процесс взаимодействия лавинного тела с препятствием можно разделить на два периода: (1) удар по препятствию плотной головной части лавины, при котором происходит резкое уплотнение этой части; (2) обтекание препятствия лавинным потоком (этот период значительно длиннее первого) [1].

Можно выделить следующие *типы* давления лавины на препятствие в процессе их взаимодействия:

- пиковое — при ударе о препятствие плотной головной части лавины, при котором происходит резкое уплотнение этой части лавинного тела;
- установившееся — при обтекании препятствия лавинным потоком;
- ударное — вызываемое крупными глыбами снега, способными производить разрушения элементов конструкций;
- давление снеговоздушной волны.

Пиковое давление лавины на препятствие является одной из основ-

ных характеристик, определяемых при решении прикладных задач. Поэтому при разработке мероприятий противолавинной защиты очень важен правильный выбор методики его расчета.

Целью настоящей работы является сравнение результатов вычисления максимального давления лавины на препятствие по наиболее часто используемым методикам для лавин, сошедших на Сахалине (в низкогорье) и на Западном Кавказе (в высокогорье), и выбор наиболее репрезентативной методики. При этом решались следующие задачи: (1) расчет давления лавины на препятствие для условий Сахалина и Западного Кавказа; (2) проверка полученных значений по данным о поломах деревьев с помощью методики С.С. Григоряна и Н.А. Урумбаева [2].

Отметим, что при выборе наиболее подходящего метода вычисления какого-либо параметра обычно проводится сравнение расчетных данных с измеренными на месте. Но в нашем случае проблема заключается в том, что в большинстве случаев измеренные данные отсутствуют, что связано с высокой сложностью проведения наблюдений над движущимися лавинами, особенно в неизученных районах.

## Методики расчета давления лавин на препятствия

Существует множество формул для расчета пикового давления  $P_n$  (МПа)

лавины на препятствие. Одной из наиболее часто употребляемых является следующая формула [4]:

$$P_n = \rho U u_3 \sin \alpha, \quad (1)$$

где  $\rho$  — плотность лавины, кг/м<sup>3</sup>;  $U$  — скорость лавины в момент ее столкновения с препятствием, м/с;  $u_3$  — скорость звука в снеговоздушной среде (в лавинном теле), м/с;  $\alpha$  — угол подхода лавинного потока к препятствию, ° (град).

Однако у всех методик расчета давления лавины на препятствие есть существенный недостаток: при расчете необходимо учитывать значение скорости лавины у препятствия.

Для расчета скорости лавины существует очень большое число формул, которые, однако, дают очень большой разброс значений; кроме того, большинство из них очень сильно завышает значения скорости лавины.

В данной работе скорость лавины  $U$  (м/с) была рассчитана по нескольким формулам.

1. Формула Канадской лавинной ассоциации [6]:

$$U = \sqrt{\xi R (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}, \quad (2)$$

где  $\xi$  — коэффициент турбулентного трения;  $R$  — гидравлический радиус лавины, равный ее толщине при движении по открытому склону, м;  $\alpha$  — средний уклон зоны транзита лавины, ° (град.);  $\mu$  — коэффициент кинетического трения.

2. Формула, используемая при отсутствии экспериментальных данных [4]:

$$U = K_n \sqrt{2g (\sin \alpha - f_n \cos \alpha)} S_n, \quad (3)$$

где  $K_n$  — коэффициент, принимающий значение 0,5 для канализованных (лотковых) лавин и 0,3 для неканализованных лавин (осовов);  $\alpha$  — средний угол наклона склона на участке наибольшего уклона от наивысшей точки (отрыва) до точки начала торможения лавины, в которой уклон равен 23°, или до любой точки выше нее, ° (град.);  $f_n$  — коэффициент трения, равный 0,2 при

движении лавины по снежной поверхности и 0,25 при ее движении по грунту;  $S_a$  — длина пути лавины до точки расчета скорости лавины, но не ниже точки с уклоном  $23^\circ$ , м;  $g$  — ускорение свободного падения,  $m/c^2$ .

3. Формула, используемая для пылевидных лавин [5]:

$$U = \sqrt{2gH(1 - \frac{\gamma_B}{\rho})}, \quad (4)$$

где  $H$  — вертикальная высота падения лавины, м;  $\alpha$  — угол наклона пути лавины,  $^\circ$  (град.);  $\rho$  — плотность снега,  $kg/m^3$ ;  $\gamma_B$  — плотность воздуха;  $g$  — ускорение свободного падения,  $m/c^2$ .

4. Формула, используемая в методике С.М. Козика [3]:

$$U = \sqrt{2gH}, \quad (5)$$

где  $H$  — превышение лавиносбора, м.

### Результаты расчетов

Расчет скорости снежной лавины по разным методикам дал большой разброс значений (табл. 1). Кроме того, во многих случаях скорость лавины была сильно завышена: расчетные значения достигали 100 м/с и более (при этом максимальная измеренная скорость лавины составила 60 м/с).

Большинство методик использует эмпирические коэффициенты, не всегда способные отразить действительный характер процесса.

Практически во всех методиках используется значение уклона лавиносбора, однако это либо его усредненная величина для всего лавиносбора, либо его значение только на подходе к сооружению без учета всего предыдущего участка.

Значения скоростей, наиболее близкие к реальным (по оценке автора), были получены при расчетах по методике, используемой при отсутствии экспериментальных данных ((3), [4]), в которой учитывается уклон до точки начала торможения лавины ( $\alpha = 23^\circ$ ). Однако эта методика не всегда может применяться при оценке лавинной опасно-



Рис. 1. Сусунайский хребет в районе бассейнов рек Уюновка и Скальная. Красная линия — граница лавиносбора, красной стрелкой показано направление движения лавины (о. Сахалин, фото из архива СФ ДВГИ РАН)



Рис. 2. Лес, выбитый лавиной в бассейне реки Уюновка (о. Сахалин, 17.03.1981, фото из архива СФ ДВГИ РАН)

сти, так как нередко нужно рассчитать скорость лавины (а также зависящее от нее давление на препятствие) на подходе к сооружению, где уклон может быть значительно меньше  $23^\circ$ .

При решении прикладных задач по разработке противолавинных мероприятий необходимо получать достоверные значения динамических характеристик лавин. Расчетные значения давления лавины на препятствие можно проверить по данным о поломах деревьев с помощью методики С.С. Григоряна и Н.А. Урумбаева [2], которая основана на измерениях с использованием датчиков давления. В соответствии с этой методикой давление снеговоздушного облака лавины на сооружение  $P_0$  (МПа) можно рассчитать по формуле:

$$P_0 = \frac{\rho_0 U_x^2}{2} = \frac{0,6d^3(x)}{C_{xc}d(l-x)^2 + 6C_{xk}S_k(l_k-x)} \sigma^*, \quad (6)$$

где  $\rho_0$  — плотность снеговоздушного облака,  $kg/m^3$ ;  $U_x$  — скорость лавины в

месте перелома древесного ствола на высоте  $x$  от комля, м/с;  $d$  — диаметр ствола в точке его перелома, м;  $x$  — высота полома (при поломе у корня или при повале принимается  $x = 0$ ), м;  $l$  — высота ствола, м;  $l_k$  — расстояние от комля до центра тяжести кроны, м;  $S_k$  — площадь кроны,  $m^2$ ;  $\sigma^*$  — предел прочности древесины на изгиб,  $kg/m^2$ ;  $C_{xc}$  — коэффициент аэродинамического сопротивления ствола, равный 0,6;  $C_{xk}$  — коэффициент аэродинамического сопротивления кроны, равный 0,1.

Автором были рассчитаны значения пикового давления лавины на препятствие по формуле (3), используемой при отсутствии экспериментальных данных [4], и давления снеговоздушной волны на сооружение по данным с поломах деревьев [2] с использованием формулы (6) для нескольких лавиносборов Сахалина (рис. 1, 2) и Западного Кавказа (рис. 3–5). Полученные по этим двум методикам величины различаются между собой очень сильно, что связано с использованием завышенных значений скорости лавин (табл. 2).

Таблица 1

Значения скорости лавин, полученные по нескольким формулам (в соответствии с методиками [3–6])					
Место схода лавины	Перепад высот, м	Скорость лавины, м/с, рассчитанная по формуле			
		(2)	(3)	(4)	(5)
<b>Красная Поляна, Западный Кавказ</b>					
ГЛК* «Роза Хутор», хр. Аибга	910	58	-	131	134
ГЛК «Роза Хутор», хр. Аибга	640	81	41	106	112
Сухой ручей, хр. Аибга	650	63	39	107	113
<b>о. Сахалин</b>					
р. Скальная, хр. Сусунайский	320	80	28	75	79
р. Скальная, хр. Сусунайский	530	36	31	98	102
руч. Хребтовый, Восточно-Сахалинские горы	850	85	-	126	129

\* ГЛК — горнолыжный комплекс.

Значения пикового давления лавин на препятствия, полученные по нескольким формулам (в соответствии с методиками [2–6])

Место схода лавины	Пиковое давление, МПа, рассчитанное с использованием значения скорости, вычисленного по формуле				Давление снеговоздушной волны на сооружение, МПа, по данным о поломах деревьев, рассчитанное по формуле (6)
	(2)	(3)	(4)	(5)	
<b>Западный Кавказ, Красная Поляна</b>					
ГЛК «Роза Хутор», хр. Аибга	0,30	-	0,67	0,69	0,048
ГЛК «Роза Хутор», хр. Аибга	0,79	0,39	1,04	1,10	0,053
Сухой ручей, хр. Аибга	0,37	0,23	0,63	0,66	0,05
<b>Сахалин</b>					
р. Скальная, хр. Сусунайский	0,51	0,18	0,48	0,51	0,056
р. Скальная, хр. Сусунайский	0,06	0,04	0,15	0,16	0,002
руч. Хребтовый, Восточно-Сахалинские горы	0,07	-	0,10	0,10	0,049



Рис. 3. Бук, сломанный лавиной в районе горнолыжного комплекса «Роза Хутор» (Красная Поляна, Западный Кавказ, фото из архива СФ ДВГИ РАН)



Рис. 4. Горные склоны в районе бассейна реки Мзымты и Сухого ручья (Западный Кавказ, фото из архива СФ ДВГИ РАН)

## Выводы

Для получения более точных результатов расчетные значения давления лавины на препятствие в лесной зоне следует проверять по данным о поломах деревьев с помощью методики С.С. Григоряна и Н.А. Урумбаева [2], так как это единственный способ проверки при отсутствии измеренных (фактических) значений давления лавины на препятствии.

Различные методики расчета скорости лавины дают большой разброс

значений, что связано с использованием эмпирических коэффициентов и несовершенством моделей движения лавин. Это приводит к большой погрешности в расчетах давления лавины на препятствие, поскольку они основаны на использовании величины ее скорости.

Значения давления лавин на препятствия, наиболее близкие к реальным, были получены при расчетах на основе величин скорости, вычисленных по методике, используемой при отсутствии экспериментальных данных [4].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Божинский А.Н., Лосев К.С. Основы лавиноведения. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 280 с.
2. Григорян С.С., Урумбаев Н.А., Некрасов И.В. Экспериментальное исследование лавинной воздушной волны // Материалы гляциологических исследований. М., 1982. Вып. 44. С. 87–93.
3. Козик С.М. Расчет движения снежных лавин. Л.: Гидрометиздат, 1962. 74 с.
4. Лосев К.С., Божинский А.Н., Гракович В.Ф. Прикладное лавиноведение. М.: ВИНТИ, 1991. 172 с.
5. Руководство по снеголавинным работам (временное). Л.: Гидрометеиздат, 1965. 397 с.
6. Handbook of snow / Edited by D.M. Gray, D.H. Male. Toronto, Canada: Pergamon Press, 1981. 751 с.



Рис. 5. Бук с диаметром ствола 43 см, сломанный лавиной, в бассейне реки Мзымты (Западный Кавказ, февраль 2008 г., фото из архива СФ ДВГИ РАН)