

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СХОДА СНЕЖНЫХ ЛАВИН НА ГОРНЫХ СКЛОНАХ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

А. С. Соловьев*, А. В. Калач*, С. Л. Карпов**

* Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России

** Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Поступила в редакцию 10.09.2012 г.

Аннотация. В работе рассмотрено влияние формы горного склона на энергию снежной лавины. Установлено интенсивное быстродействующее энергетическое воздействие лавины на склоне вогнутой формы. Максимальное энергетическое воздействие характерно для вогнутых склонов с углом отклонения $\Delta\varphi$ от -10° до -5° и относительной длиной верхнего участка склона $L_B / (L_B + L_H)$ около 0,4.

Ключевые слова: горный склон, снег, лавина, энергия.

Annotation. In work influence of a form of a hillside on energy of an avalanche is considered. Intensive high-speed power influence of an avalanche on a slope of a concave form is established. The maximum power influence is characteristic for concave slopes with a deviation corner $\Delta\varphi$ from -10° to -5° and the relative length of the top site of a slope of $L_B / (L_B + L_H)$ about 0,4.

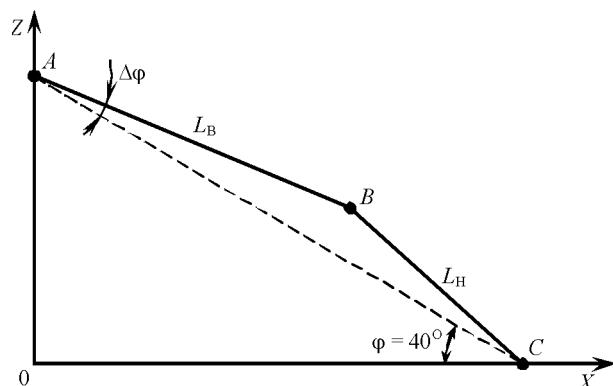
Keywords: hillside, snow, avalanche, energy.

Одним из наиболее важных факторов, определяющих вероятность и характер схода снежной лавины, является рельеф поверхности склона. Целью данной работы являлось исследование на основе компьютерного моделирования особенностей схода снежной лавины на склонах с выпуклым и вогнутым профилями. В простейшем случае такие профили могут быть составлены из двух линейных участков АВ и ВС (рис. 1). В данном исследовании средний угол склона (угол между АС и горизонтальным направлением) принят постоянным и составлял $\varphi = 40^\circ$, однако угол $\Delta\varphi$ наклона верхнего участка АВ мог изменяться (в данной работе $\Delta\varphi$ менялся от -20° до 20°), тем самым задавая величину выпуклости ($\Delta\varphi > 0$) или вогнутости ($\Delta\varphi < 0$). Кроме того, в моделиарьзовали длины L_B и L_H верхнего участка АВ и нижнего ВС для исследования схода лавины на различных типах склонов.

Для оценки поражающего действия снежной лавины рельеф поверхности в виде ломаной линии был заложен в разработанную нами на основе модифицированного SPH – метода имитационную компьютерную модель схода снежной лавины [1, 2]. Моделирование зарождения и схода лавины проводится в двумерном пространстве (x, z). Снежная масса представлялась

элементами в форме окружности в количестве порядка 10^4 , имитирующих отдельные фрагменты снега и движущихся по законам классической механики. Движение снежной массы описывали системой дифференциальных уравнений второго порядка, которые численно интегрируются по времени усовершенствованным методом Эйлера-Коши [3].

В начальный момент времени снежная масса помещается на склон с рельефом $z(x)$ и имеет параметры, обеспечивающие ее неподвижное состояние на склоне. Через некоторое время в модели изменяются параметры снежной массы (коэффициент сцепления $k_{\text{орп}}$) таким



Rис. 1. Схема составления в модели поверхности склона АВС из двух прямолинейных участков длинами L_B и L_H , с угловым отклонением $\Delta\varphi$ верхнего участка от среднего угла склона φ

образом, чтобы инициировать сход лавины. Снег начинает медленно сползать по склону, постепенно переходя в прыгающее фрагментированное состояние, то есть, в полноценную лавину. В рамках данного исследования проведено две серии компьютерных экспериментов по сходу лавины. В первой серии компьютерных экспериментов исследовали влияние величины выпуклости (вогнутости), которая в модели задается углом $\Delta\varphi$. Угол $\Delta\varphi$ изменяли от -20 до 20° с шагом 5° (рис. 1). Поражающее действие снежной лавины оценивали по графикам $E_{\text{кин}}(t)$. Графики представляют собой временную зависимость кинетической энергии снега, движущегося в пределах окружности радиусом 5 м, расположенной в нижней части склона. Такая окружность имитирует объект, расположенный в основании склона (например, жилой дом, хозяйственная постройка или автомобиль).

В случае прямолинейной формы склона зависимость $E_{\text{кин}}(t)$ имеет один характерный максимум с экспоненциальным фронтом и экспоненциальным спадом. Если склон имеет вогнутую форму, на верхнем участке склона, расположенным под большим углом к горизонту, формируется более интенсивный поток снега, чем на нижнем участке. При этом, движение снега на верхнем участке инициирует лавину на нижнем участке, даже если на нем не выполняются условия для схода лавины (определенное соотношение между толщиной снежной массой и крутизной склона). Установлено, что изменение энергии $E_{\text{кин}}(t)$ проходит через максимум, поскольку снежная масса с верхней части склона, движущаяся с большой скоростью догоняет снежную массу с нижней части склона, движущуюся с меньшей скоростью. При этом усиливается удар снега об объект, расположенный внизу склона. Таким образом, вогнутый склон как бы “фокусирует” ударное действие лавины. Поэтому вогнутые склоны более опасны, по сравнению с прямолинейными и выпуклыми, по критерию максимальной величины ударного воздействия.

В случае выпуклой формы склона, сначала, с большой скоростью сходит снежная масса с нижней части склона. Затем ее догоняет снежная масса с верхней части склона, однако поток снежной массы оказывается при этом меньше из-за медленной подпитки лавины

снежной массы с верхней части склона, движущейся с невысокой скоростью. Поэтому зависимость $E_{\text{кин}}(t)$ для выпуклого склона имеет либо невысокий и размытый по времени пик, либо два отдельных невысоких пика, либо один выраженный пик и участок равномерного воздействия незначительного потока снежной массы. Различие в энергетическом воздействии лавины на вогнутом склоне приблизительно в два раза выше воздействия на выпуклому склоне.

Положение точки излома В склона АВС определяет “фокусирующую способность” склона. Во второй серии компьютерных экспериментов относительную длину $k = L_B / (L_B + L_H)$ изменяли от 0,3 до 0,7 с шагом 0,1 отдельно для выпуклого и вогнутого склонов. Для вогнутого склона наибольшая кинетическая энергия (до 47 кДж) наблюдается для небольшой относительной длины верхнего участка ($L_B / (L_B + L_H) = 0,3-0,4$). Причина этого заключается в том, что с увеличением длины L_B при постоянном угле наклона верхнего участка $\Delta\varphi$ уменьшается угол наклона нижнего участка, что снижает интенсивность лавины. Для выпуклого склона максимальная кинетическая энергия практически не зависит от положения точки наибольшей выпуклости и составляет около 20 кДж. Изменению подвергается лишь интенсивность первого или второго ударного воздействия.

Зависимость энергии лавины от параметров горного склона приведена на рис. 2 (а, б). Из графика зависимости максимальной кинетической энергии, испытываемой объектом внизу склона, от угла наклона верхнего участка $E_{\text{кин.м.}}(\Delta\varphi)$ видно, что наибольшее поражающее воздействие (около 45 кДж) наблюдается для склонов с незначительной вогнутостью ($\Delta\varphi = -10...-5^\circ$) (рис. 2, а).

График $E_{\text{кин.м.}}(L_B / (L_B + L_H))$ свидетельствует о том, что для вогнутого склона наибольшее энергетическое воздействие наблюдается в случае, когда относительная длина верхней части склона составляет около 0,4 от общей длины склона. В случае выпуклого склона максимальное энергетическое воздействие практически не зависит от характера выпуклости и составляет около 20 кДж.

На основе полученных результатов установлено, что сход снежных лавин на склонах выпуклой и вогнутой формы протекает различно.

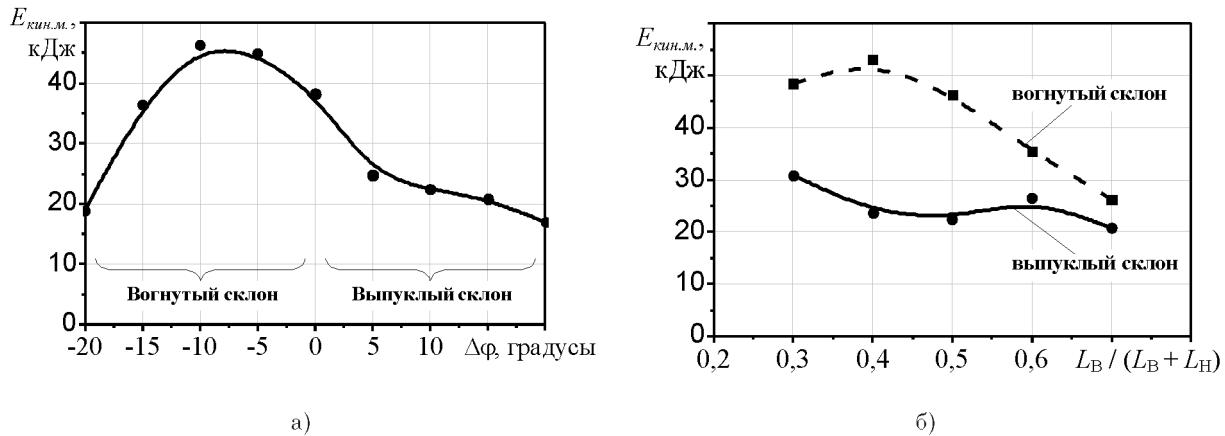


Рис. 2. Зависимость максимальной кинетической энергии, воспринимаемой объектом шарообразной формы, расположенным в нижней точке склона, от угла наклона верхнего участка склона $\Delta\phi$ (а) и от длины верхнего участка склона L_B (б)

На склонах вогнутой формы энергетическое воздействие лавины оказывается интенсивным (порядка 40 кДж), но короткодействующим (порядка 5 с), на склонах же выпуклой формы – менее интенсивным (порядка 15 кДж), но большей длительности (порядка 25 с). Максимальное энергетическое воздействие наблюдается для вогнутых склонов с углом отклонения $\Delta\phi$ от -10° до -5° и относительной длиной верхнего участка склона $L_B / (L_B + L_H)$ около 0,4.

Соловьев Александр Семенович – кандидат физико-математических наук, доцент, ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России, начальник кафедры физики.

Калач Андрей Владимирович – доктор химических наук, доцент, ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России, заместитель начальника института по научной работе. E-mail: a_kalach@mail.ru

Карпов Сергей Леонидович – ФГБОУ ВПО Воронежский ГАСУ, аспирант кафедры физики и химии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liu G., Liu M. Smoothed Particle Hydrodynamics: A Meshfree Particle Method. Singapore: World Scientific, 2003. – 473 p.
2. Liu M., Liu G. Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH): an Overview and Recent Developments // Archives of computational methods in engineering. Vol. 17(1). 2010. P. 25–76.
3. Исследование взаимодействия снежной лавины с элементами защитных сооружений / Соловьев А. С., Лебедев О. М., Калач А. В., Петренко В. В. // Технологии гражданской безопасности, 2012. Т. 9. № 2(32). С. 74–77.

Alexander Semenovich Soloviev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Voronezh Institute State Fire Service of Russian Federation Ministry for Civil Defence, Emergencies and Disaster Relief, Head of the Department of Physics.

Kalach AndreyVladimirovich – Doctor of chemical science, Associate Professor, Voronezh Institute State Fire Service of Russian Federation Ministry for Civil Defence, Emergencies and Disaster Relief, Head of the Department of Physics. E-mail: a_kalach@mail.ru

Karpov Sergey Leonidovich – Federal State Educational Institution of Higher Professional Education “Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering” Voronezh, graduate student of physics and chemistry.