

## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СНЕГА В ПРОЦЕССЕ УДАРА О ПРЕГРАДУ

*Кар көчкүнүн урунуу нагрукасынын көз карандылык сызыгы анын урунуу ылдамдыгынан алынды.*

*Получена линейная зависимость ударной нагрузки снежной лавины от скорости соударения.*

*The linear independent of percussion load for avalanche from concussion speed is taken.*

Оценка силовых воздействий снежных лавин на инженерные сооружения невозможна без знания закономерностей поведения снежных масс в процессе удара.

Рядом авторов исследовались прочностные параметры снежных блоков при их ударах о неподвижное препятствие. Опыты проф. Э.П. Исаенко и В.И.Ядрошникова /1/ в лавинном лотке проводились как с обеспечением свободного расширения снежных образцов, так и без расширения (в специальных компрессионных приборах).

При динамической нагрузке снежных образцов обнаружены иные (по сравнению со статической нагрузкой) соотношения между  $\sigma_1$  и  $\sigma_r$ . Если при статической нагрузке коэффициент Пуассона для снега  $\mu$  изменяется в диапазоне от 0,1 до 0,3, то при динамической нагрузке он составляет 0,2-0,6, иногда достигая 1,0. Это говорит о возможности значительных радиальных усилий при ударе снежных лавин о преграду. Для мокрых лавин следует учитывать, что усилия вдоль плоскости преграды могут достичь по величине значений нормального давления. Этот факт до последнего времени не учитывался при конструировании лавинозащитных галерей, что приводило к заваливанию порталов галерей лавинным снегом, который под действием напряжений  $\sigma_t$  двигался вдоль галереи.

При взаимодействии снежных лавин с защитными сооружениями величины лавинных нагрузок определяются параметрами снежных лавин (скорость движения, плотность снега, высота лавинного потока, длина лавинного тела и др.) и параметрами защитных сооружений (форма, размеры, жесткость и пр.).

До последнего времени исследовалось, в основном, воздействие лавины на абсолютно жесткое препятствие. Влияние же самого сооружения на процесс взаимодействия изучено недостаточно.

При оценке воздействия лавины на абсолютно жесткое препятствие сформировалось несколько подходов.

Перечислим их.

1. Представление снежной лавины при взаимодействии с препятствием в виде потока неожиданной жидкости .

2. Лавина рассматривается как смесь воздуха и ледяных кристаллов, а ее давление на препятствие в момент удара при плотности снега до  $200 \text{ кг/м}^3$  определяется без учета прочности ледяного скелета.

3. Лавина рассматривается как сжимаемая среда, упрочняющаяся в процессе удара.

Представление снежной лавины в виде потока несжимаемой жидкости допустимо в случаях, когда фактические деформации снега незначительны (например, снег испытывает только упругие деформации). При этом напряжения в снеге “ $\sigma$ ” подчиняются закону Гука:

$$\sigma = \epsilon_{\text{пр}} \cdot E,$$

где  $\epsilon_{\text{пр}}$  – предельная относительная деформация;  $E$  – модуль упругости.

Если  $C_c$  - скорость распространения продольных ударных волн в снеге, то

$$\epsilon_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} / C_c,$$

где  $V_{\text{пр}}$  - предельная скорость соударения лавины с препятствием, с превышением которой не выполняется закон Гука.

Экспериментально установлено, что  $\epsilon_{\text{пр}} = 0,003-0,02$ , а  $C_c = 300-1500 \text{ м/с}$ . Тогда  $V_{\text{пр}} = 3-10 \text{ м/с}$ .

Следовательно, при скоростях лавины более  $3-10 \text{ м/с}$ , направленных нормально препятствию, ее представление в виде несжимаемой жидкости приводит к ошибкам, так как снег при соударении испытывает упругие и пластичные деформации.

Вторая группа методов оценки давления лавины на преграду соответствует действительности, когда соударение лавины с препятствием занимает меньшее время, чем нужно для прихода волны разгрузки к плоскости соударения.

Если толщина лавинного потока равна  $h$ , а угол отклонения направления движения лавины препятствием -  $\alpha$ , то указанное условие имеет вид:

$$\frac{h}{C_c} \geq \frac{h_n}{V \sin \alpha},$$

где  $h_n / V \sin \alpha$  - время нарастания лавинного давления при обтекании лавиной препятствия.

По данным И.Е.Шуровой [2], в лавине скорость прохождения ударных волн резко снижается при разрыхлении снежной массы. Для сильно разрыхленного снега величина  $C_c$  близка к 40 м/с. При  $\alpha = 30^\circ$ ,  $C_c = 40$  имеем  $V \geq 80$  м/с. Таким образом, вторая группа методов соответствует действительности при скоростях лавин более 80-100 м/с.

Анализ данных измерения скоростей лавин показывает, что скорость снежной лавины чаще всего составляет 20-50 м/с. При этих скоростях лавин их взаимодействие с преградами нужно рассматривать с учетом прочности и деформаций снега при ударе.

Методы расчета давления лавины на препятствия с учетом деформации снега при ударе до последнего времени не были разработаны. Предложенное академиком С.А.Христиановичем уравнение для расчета давления лавины

$$P = 0,1 \frac{\rho \rho_1}{\rho_1 - \rho},$$

где  $\rho$  - плотность снега в лавине до удара,  $\rho_1$  - плотность снега лавины после удара, на практике не применяется, так как величины  $\rho$  и  $\rho_1$  неизвестны (при движении лавины первоначальная плотность снега изменяется). Кроме того, для очень прочного снега (не уплотняющегося, а растрескивающегося и разрыхляющегося при ударе) формула Христиановича дает отрицательное давление, что не соответствует действительности.

Измерение скоростей и давлений лавины в натуральных условиях затруднительно из-за опасности и большой сложности этих работ. Пока не удастся провести комплексные измерения (удается измерить только скорость или давление лавины, а плотность снега не фиксируется). Получено очень мало фактических данных, комплексно характеризующих взаимодействие лавины с преградами.

Проблемной лабораторией селей и лавин МГУ в Хибинах построена установка для измерения давления лавин при обтекании ими препятствия шириной 3 м и высотой 8 м [1, 2]. На Кавказе выполнено исследование взаимодействия лавины с высокими мачтами линий электропередач.

Как показал анализ результатов экспериментов, величина зоны соударения  $L_y$  была меньше, чем  $h / \sin \alpha$ , где  $h$  - высота образца; с увеличением угла соударения  $\alpha$  величина  $L_y$  приближалась к  $h / \sin \alpha$ . Зависимость длины зоны соударения от угла отклонения направления движения блока (в градусах) имеет вид:

$$L_y = 0,02 \alpha h / \sin \alpha .$$

Зависимость справедлива при  $20^\circ < \alpha < 50^\circ$ .

Ударное давление при взаимодействии с наклонным препятствием аппроксимируется зависимостью:

$$P_{\alpha} = P \sin \alpha,$$

где  $P$  – давление при нормальном ударе.

Модуль скорости движения снежного блока после удара о препятствие аппроксимируется зависимостью:

$$V = V_1 \left( 1 - \frac{G}{V_1} \sin \alpha \right).$$

(1)

Зависимость справедлива при скоростях соударения до 25 м/с.

Экспериментально полученные результаты свидетельствуют, что ударные нагрузки при взаимодействии снежных лавин с препятствиями находятся в линейной зависимости от скорости соударения при скоростях до 34 м/с.

Для лотковых лавин при скоростях соударения до 32 м/с на экспериментальной установке в Хибинах получена зависимость:

$$P = aV^{1,3},$$

близкая к линейной зависимости. Учет пластических деформаций снега при соударении лавины с препятствием приводит к зависимости  $P = aV$ .

Следовательно, линейная зависимость ударной нагрузки снежной лавины от скорости соударения физически обоснована и экспериментально подтверждена при скоростях соударения до 34 м/с. При более высоких скоростях соударения должны действовать более сложные зависимости, так как при значительных относительных деформациях (более 0,30) соотношения между напряжениями и деформациями нелинейны существенно.

### Список литературы

1. Исаенко Э.П., Марин Ю.А., Ядрошников В.И. Исследование физико-механических свойств покрова в горных районах Южного Сахалина //Тр. НИИЖТа. –М., 1970. – Вып.101. – С.59-86.
2. Шурова И.Е., Якимов Ю.Л. Исследование удара о неподвижное препятствие //Материалы гляциологических исследований. Хроника обсуждения. – М., 1970. – Вып.16. – С.52-57.

