

УДК 551.32

Хамитов Т.К. – кандидат технических наук, старший преподавательE-mail: tagirkx@yandex.ru**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Оценка динамической нагрузки на покрытие от падения снега при экспертизе зданий с перепадом высоты

Аннотация

В зимнее время встречаются случаи обрушения покрытий, вызванные сползанием и падением снежной массы на нижерасположенную крышу или конструкцию. Причиной данного явления являются отсутствие снегозадерживающих устройств на кровле, а также тепловыделение от чердака и колебания температуры воздуха, в результате которых происходит подтаивание и снижение сцепления снега с кровлей. В связи с этим возникает задача оценки величины динамической (ударной) нагрузки на покрытие от падения снежной массы с некоторой высоты. Принимая снежную массу за материальную точку, на основе общих теорем динамики находится величина ударной нагрузки на покрытие.

Ключевые слова: здания с перепадом высоты, снежная масса, ударная нагрузка, коэффициент динамичности.

Для некоторых зданий и сооружений характерны покрытия с перепадом высоты – это фонарные конструкции, навесы, козырьки и т.п. Расчет несущих конструкций покрытий на статическую снеговую нагрузку достаточно полно отражено в нормативных документах. Однако в зимнее время встречаются случаи обрушения покрытий, вызванные сползанием и падением снежной массы на нижерасположенную крышу или конструкцию. Проблема особенно актуальна для таких покрытий, если на них не установлены снегозадерживающие устройства. Причиной сползания снежной массы с кровли являются также тепловыделение от чердака и колебания температуры воздуха, в результате которых происходит подтаивание и снижение сцепления снега с кровлей. На рис. 1 показан пример разрушения конструкций крыши корпуса № 9 на территории научного городка ФГУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», г. Казань.

Известно, что при падении тела с высоты сила удара во много раз может превосходить вес тела. Анализ причин обрушения покрытий зданий с перепадом высоты, связанных со сползанием и падением снежной массы, приводит к необходимости рассматривать динамическую снеговую нагрузку как лавинную. Имеется немало теоретических и экспериментальных исследований [1-4], посвященных определению давления снежных лавин о преграду или сооружение. В России до 1992 г. лавинные нагрузки рассчитывались на основе инструкции СН 517-80. В данной инструкции приводится квадратичная зависимость ударного давления от скорости лавины. Более поздние экспериментальные работы [5, 6] показали линейную зависимость ударного давления от скорости. Следует отметить, что в настоящее время в нормативной литературе (СП 20.13330.2011, СП 116.13330.2012) отсутствуют какие-либо методики и рекомендации, регламентирующие динамическую нагрузку (лавинные нагрузки) от снега при его падении с высоты. Отсутствие теоретических разработок, доведенных до практического использования, объясняется чрезвычайной сложностью данной задачи, в том числе отсутствием теории ударного взаимодействия рыхлых тел по жестким преградам. В данной статье сделана попытка определить величину ударной нагрузки на покрытие при падении на нее снежной массы с некоторой высоты. При этом для описания движения снежной массы используются модель материальной точки и элементарная теория удара из курса теоретической механики. Такой подход применялся в ранних работах [7, 8]. Очевидно, что такое упрощение задачи не претендует на полноту описания явления, однако может являться первым приближением оценки ударной нагрузки.

Рассматривается покрытие здания с перепадом высоты (рис. 2) со следующими данными: p – снеговая нагрузка на кровлю; m – масса снега; α – угол наклона верхней

кровли; β – угол наклона нижней кровли; h – перепад высоты; f – коэффициент трения скольжения снега по кровле; l – половина пролета стропил верхней кровли; v_0 – начальная скорость снежной массы в момент отрыва от верхней кровли; v_1 – скорость снежной массы в момент удара о нижнюю кровлю; b – длина участка нижней кровли, на которой падает снежная масса.

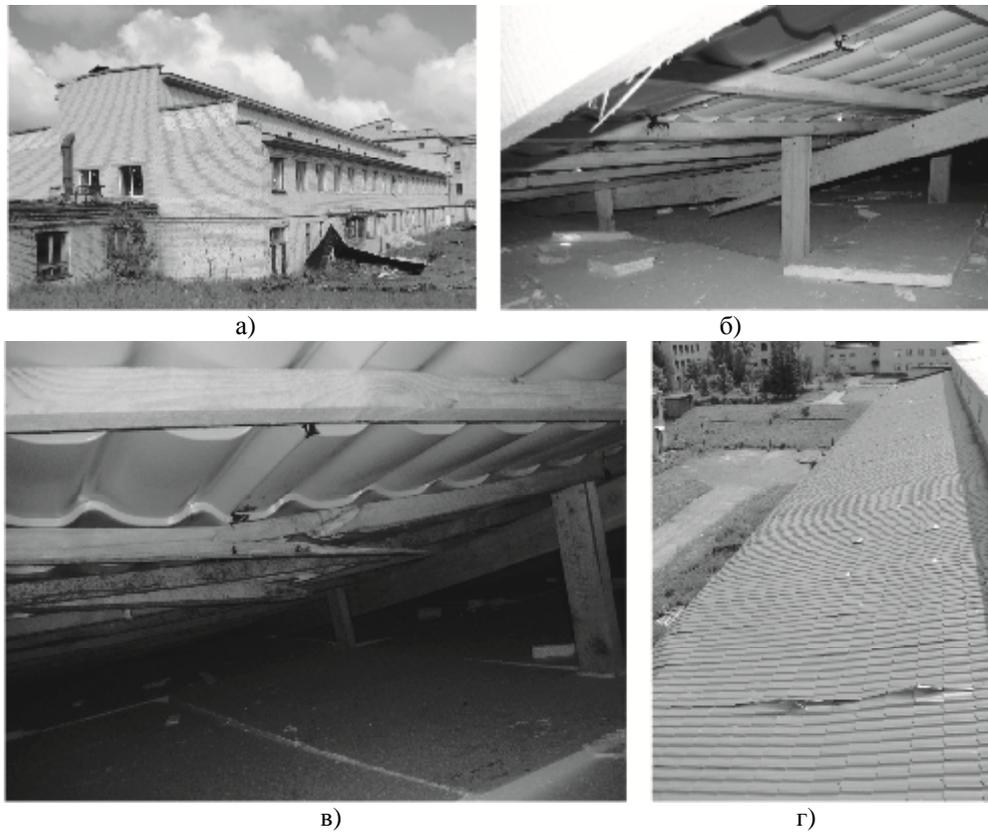


Рис. 1. Разрушение конструкций крыши здания (а) после аварии: б – стропил; в – обрешетки; г – кровли

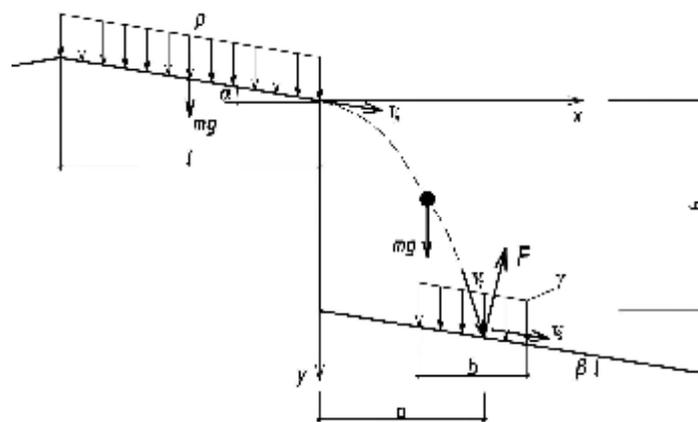


Рис. 2.

Снежная масса m с некоторой площади верхней кровли смещается на расстояние $l/2$ и в момент отрыва кровли имеет скорость v_0 . Воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии точки:

$$\frac{mv_0^2}{2} = mg \frac{l}{2} (\sin \alpha - f \cos \alpha), \tag{1}$$

откуда находим:

$$v_0 = \sqrt{gl \times (\sin \alpha - f \cos \alpha)} . \tag{2}$$

Определим скорость снега v_1 в момент удара о нижнюю кровлю. Запишем теорему об изменении кинетической энергии точки:

$$\frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = mg \times (h + a \times gb) , \tag{3}$$

откуда скорость:

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 + 2g \times (h + a \times gb)} , \tag{4}$$

где $a = v_0 \cos \alpha \times \sqrt{2h/g}$.

Для определения величины силы удара F о нижнюю кровлю воспользуемся теоремой об изменении количества движения точки при ударе. При этом упавшее количество снега на участок длиной b заменим полосой распределенной нагрузки с погонной массой g . Запишем теорему в дифференциальной форме:

$$gdx\bar{v}_2 - gdx\bar{v}_1 = d\bar{S} , \tag{5}$$

где g – погонная масса снега (распределенная нагрузка по площадке длиной b , куда падает снег (рис. 2)); \bar{v}_1, \bar{v}_2 – векторы скоростей элементарного участка снежной полосы до и после удара, $d\bar{S}$ – элементарный импульс силы удара \bar{F} , направленный по нормали к нижней кровле; dx – длина элементарного участка снежной полосы; gdx – масса элементарного участка снежной полосы.

Модуль вектора $d\bar{S}$ находим из прямоугольного треугольника (рис. 3):

$$dS = v_1 \times g \times dx \times \sin j , \tag{6}$$

где j – угол между векторами \bar{v}_1 и \bar{v}_2 , который зависит от уклона β нижней кровли и угла падения δ снежной массы до удара. Угол j находим по рис. 3:

$$j = 90^\circ - \beta - \delta . \tag{7}$$

Здесь $\delta = \arctg \frac{v_{1x}}{v_{1y}}$, $v_{1x} = v_0 \cos \alpha$, $v_{1y} = v_0 \sin \alpha + \sqrt{2gh}$.

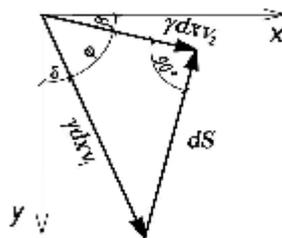


Рис. 3

Разделив обе части равенства (6) на dt и учитывая, что $\frac{dS}{dt} = F$, $\frac{dx}{dt} = v$, получим:

$$F = v_1^2 \times g \times \sin j . \tag{8}$$

С учетом формул (2) и (4), окончательно получим:

$$F = g \times \left(v_0^2 + 2g \times (h + a \times gb) \right) \times \sin j \tag{9}$$

или

$$F = g \times \left(\sin^2 \alpha - f \cos \alpha \right) + 2(h + a \times gb) \times \sin j . \tag{10}$$

Приведем формулу для давления лавины о защитное сооружение по СН 517-80:

$$p_n = \frac{g_n \times v_n^2}{g} \sin^2 \beta , \text{ Н/м}^2, \tag{11}$$

где β – угол между направлением лавины и поверхностью сооружения, град; v_n – скорость лавины, м/с; g_n – объемный вес снега, Н/м³; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Сравнение формул (8) и (11) показывает, что величина ударного давления снега квадратично зависит скорости, хотя это не подтверждается экспериментами [5, 6].

Пример

Рассмотрим движение снежной полосы шириной 1 м по верхней кровле при следующих данных:

$$p = 100 \text{ кг/м}^2, l = 3,5 \text{ м}, h = 2 \text{ м}, f = 0,015, \alpha = \beta = 9^\circ, g = 9,81 \text{ м/с}^2.$$

Масса снега m с площади $1 \cdot l$ равна $m = 1 \cdot l \cdot p = 350 \text{ кг}$. Пусть $b = 1 \text{ м}$ – длина участка на нижней кровле, на которую падает снежная масса. Тогда погонная масса снега

$$g = m / b = 350 \text{ кг/м}.$$

По вышеприведенным формулам имеем следующие выражения:

$$v_0 = \sqrt{9,81 \times 3,5 \times (\sin 9^\circ - 0,015 \cos 9^\circ)} = 2,2 \text{ м/с},$$

$$v_{1x} = 2,2 \times \cos 9^\circ = 2,18 \text{ м/с}; v_{1y} = 2,2 \times \sin 9^\circ + \sqrt{2 \times 9,81 \times 2} = 6,61 \text{ м/с},$$

$$j = 90^\circ - 9^\circ - \arctg \frac{2,18}{6,61} \approx 63^\circ; a = 2,2 \times \cos 9^\circ \times \sqrt{2 \times 2 / 9,81} = 1,387 \text{ м},$$

$$F = 350 \times \left(2,2^2 + 2 \times 9,81 \times (2 + 1,387 \times g \times 9^\circ) \right) \times \sin 63^\circ = 15090 \text{ Н}.$$

Коэффициент динамичности k , равный отношению силы удара к весу упавшей снежной полосы:

$$k = \frac{F}{mg} = \frac{15090}{350 \times 9,81} \approx 4,4.$$

Таким образом, даже приближенный анализ показывает, что динамическая нагрузка может существенно превосходить статическую снеговую нагрузку и это необходимо учитывать при проектировании крыш с перепадом высот.

Выводы

1. При экспертной оценке аварий покрытий (крыш) с перепадом высот, связанных со сползанием и падением снежной массы, а также при проектировании таких крыш, наряду со статическим воздействием необходимо учитывать также и динамическое воздействие снеговой нагрузки.

2. Более точная количественная оценка ударной нагрузки снега о покрытие требует проведения специальных экспериментов по изучению ударного взаимодействия рыхлых тел по жестким преградам.

Список библиографических ссылок

1. Катюшин В.В. Здания с каркасами из рам переменного сечения. – М.: Стройиздат, 2005. – 656 с.
2. Соловьев А.С., Калач А.В., Лебедев О.М. Математические модели лавинных процессов // Монография. – Saarbrucken: LAP, 2013. – 141 с.
3. Соловьев А.С., Калач А.В. Современное состояние вопроса изучения снежных лавин // Монография, 2013. – 137 с.
4. Дюнин А.К. В царстве снега. Изд-во «Наука». Сибирское отделение. – Новосибирск, 1983. – 161 с.
5. Ядрошников В.И. Исследование взаимодействия движущихся снежных масс с препятствиями. // Труды НИИЖТа, 1979, вып. 195. – С. 29-47.
6. Жилин А.М. Определение расчетных нагрузок при защите железнодорожного пути от снежных лавин. // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новосибирск, 1992. – 19 с.
7. Гофф А.Г., Оттен Г.Ф. Борьба со снежными обвалами // В кн.: Снег и снежные обвалы в Хибинах. – Л. – М.: Гидрометеиздат, 1938. – С. 71-98.
8. Саатчян Г.Г. Снег и снежные обвалы // Труды Тбилисского НИИ сооружений, 1936, вып. 27.

Khamitov T.K. – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: tagirkx@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Evaluation of dynamic loads on the coating from snow falling in the appraisal of buildings with height difference

Resume

In winter there are cases of collapse of the buildings roofs caused by slipping and falling snow masses on the roof or underlying structure. The cause of this phenomenon are the lack of snow retention devices on the roof and heat from the attic and fluctuations in air temperature, resulting in melting and reduction of adhesion of snow from the roof. Analysis of the causes of collapse of the building roofs with height difference involving the fall of the snowpack, leads to the need to consider dynamic snow loads as avalanche. This raises the problem of estimating the magnitude of the dynamic loads on the coating from falling snow masses with a certain height. Currently in construction standard no procedures and recommendations governing the avalanche load, so the solution to this problem seems urgent. Taking a snow mass for a material point the magnitude of shock load on the coating in the article is found.

Keywords: the building with height difference, weight of snow, impact load, dynamic factor.

Reference list

1. Katyushin V.V. Buildings with frames made of frames of variable cross section. Publisher «Stroiizdat». – M., 2005. – 656 p.
2. Solovyov S.A., Kalach A.V., Lebedev A.M. Mathematical model of avalanche processes // Monograph. – Saarbrücken: LAP, 2013. – 141 p.
3. Soloviev A.S., Kalach A.V. Modern state of the problem the study of snow avalanches // Monograph, 2013. – 137 p.
4. Dyunin A.K. In the Kingdom of snow. Publishing House «Nauka». Siberian branch. – Novosibirsk, 1983. – 161 p.
5. Yadroshnikov V.I. Study of the interaction between moving masses of snow with obstacles. // Trudy VNIIZHTa, 1979, vol. 195. – P. 29-47.
6. Zhilin A.M. Determination of design loads while protecting the railroad tracks from avalanches. // The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences. – Novosibirsk, 1992. – 19 p.
7. Goff A.G., Otten G.F. Fight against snow avalanches // In kN.: Snow and avalanches in the Khibiny mountains. – L. – M.: Gidrometeoizdat, 1938. – P. 71-98.
8. Saatchyan G.G. Snow and avalanches // Proceedings of the Tbilisi research Institute of constructions, 1936, vol. 27.