

УДК 378.14

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАДАЮЩЕГО СНЕГА

А.А. Чистяков, студент гр. ГДс- 156, I курс
Научный руководитель: Г.К. Кошкина, к.ф.-м.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Цель данной работы состояла в том, чтобы определить :

- 1) максимальное расстояние, на которое может упасть сползающий с крыши 12-этажного здания снег;
- 2) силу удара, с которой он ударяется о стоящие во дворе предметы (например, автомобиль).

Для решения данной задачи были использованы следующие данные, представленные РЭУ:

длина козырька от стены до края $l = 1,5$ м;

ширина упавшего участка снега $c = 0,5$ м;

толщина слоя снега $b = 0,53$ м¹.

высота от края козырька до земли $h = 31,2$ м,

угол наклона козырька $\alpha = 36^\circ$.

Процесс падения снега с крыши состоит из двух этапов.

Первый этап – соскальзывание снега с крыши с ускорением $a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$, где $g = 9,8$ м/с² – ускорение свободного падения, μ – коэффициент трения снега (или льда, в который этот снег превратился) о крышу. Значения коэффициента трения μ зависят, прежде всего, от погодных условий. Так, коэффициент трения льда по льду при 0°C составляет 0,020, по стали при той же температуре – 0,027, свежесвыпавшего снега – от 0,12 до 0,15. Выбирая наивысшее из приведенных значений $\mu = 0,15$, и учитывая, что $\sin \alpha = 0,588$, $\cos \alpha = 0,804$, получаем ускорение пласта снега, при сходе с крыши: $a = 4,58$ м/с². Считая, что скорость снега определяется временем скольжения, нетрудно увидеть, что первые порции снега будут падать без начальной скорости вертикально вниз. При этом верхние части соскользнувшего слоя в момент падения с крыши будут иметь скорость $v_{0\max} = \sqrt{2al} = 3,71$ м/с, направленную вниз под углом 36° к горизонту. Начальные скорости остальных слоев падающего пласта направлены также под углом 36° к горизонту и имеют скорости от 0 до $v_{0\max}$.

$v_{0\max}$	Горизонтальная	составляющая	скорости	$v_{0\max}$
-------------	----------------	--------------	----------	-------------

¹ По данным на 20 декабря 2014 года. Источник: <http://kemerovo.bezformata.ru/listnews/rekordno-anomalnij-god/27960307/>

$$v_{0x} = v_{0\max} \cos \alpha = 3,00 \text{ м/с}, \quad \text{вертикальная} \quad \text{составляющая}$$
$$v_{0y} = v_{0\max} \sin \alpha = 2,18 \text{ м/с}.$$

После соскальзывания с крыши снег падает с ускорением свободного падения. Движение снега по горизонтали и вертикали описывается уравнениями: $x = v_{0x}t$ (1), $y = v_{0y}t + \frac{gt^2}{2}$ (2), где y — расстояние от козырька до падающей порции снега по вертикали. Решая уравнение (2) при условии $y = h$, получаем время падения: $t = 2,31$ с. За указанное время снег может пролететь по горизонтали расстояние $x = v_{0x}t = 6,91$ м. Таким образом, даже при сравнительно высоком коэффициенте трения снег может попасть на предметы, расположенные на расстоянии от 0 до 6,91 м по горизонтали от козырька. Учитывая, что 1 марта в Кемерово температура воздуха достигала $+3,4^\circ\text{C}$ ², можно предположить, что ввиду таяния снега между ним и крышей могла образоваться водяная прослойка, и коэффициент трения мог быть еще ниже, а следовательно — падение снега еще дальше.

Таким образом, ответ на первый вопрос – снег мог упасть на землю на расстояние более 7 м от основания здания.

Чтобы получить ответ на второй вопрос, необходимо рассчитать силу давления снега на автомобиль в процессе падения. Эта сила складывается из силы статического давления упавшего снега на автомобиль и динамического давления, возникающего при ударе падающего снега. Расчет обеих сил производится в предположении, что снег падает на автомобиль постепенно, по мере сползания пласта с крыши. Оценим эти слагаемые по отдельности.

1. Сила статического давления.

Согласно исходным данным, площадь участка, с которого мог упасть снег, $s = c \cdot l = 0,5 \cdot 1,5 = 0,75 \text{ м}^2$. По данным на 1 марта 2016 года толщина снежного покрова в Кемерово достигала 53 см. При расчетах была принята заведомо заниженная величина $b' = 0,4$ м. 1 марта 2016 года погода была теплой, снег начал таять, поэтому при расчетах была использована плотность мокрого снега $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$. На основании вышеприведенных данных можно оценить массу упавшего на автомобиль снега $m = \rho s b' = 210$ кг. Сила статического давления на автомобиль, $F_{cm \max} = 2100$ Н.

2. Сила динамического давления.

Эта сила возникает при ударе упавшего снега о детали автомобиля. Ее можно рассчитать по формуле $F_{дин} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$, где Δp – изменение импульса снега при ударе снега об автомобиль, Δt – время, в течение которого происходит удар. $\Delta p = \Delta m v$

² Источник: http://img.km.ru/сводные_данные_по_погоде_в_к_р_2016_г_1_квартал_1_8_сентя_2016_г_орбачева
19-22 апреля 2016 г., Россия, г. Кемерово

Поскольку снег падает на автомобиль со скоростью $v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$, максимальная скорость падения снега в момент удара об автомобиль $v_{\max} = \sqrt{v_{0\max}^2 + 2gh} = 25,18$ м/с (90,65 км/час), и при ударе уменьшается до нуля. Осталось оценить массу снега, падающего на автомобиль за время удара Δt . Эта масса равна массе, соскальзывающей с крыши за время Δt : $\Delta m = \rho \Delta V = \rho b' c v_0 \Delta t$, где ΔV — объем снега, срывающегося с крыши за время Δt , $v_0 \Delta t$ — длина пласта срывающегося снега.

При условии максимальной скорости сползания снега $\Delta m = \rho b' c v_{0\max} \Delta t$. Следовательно, максимальная сила динамического давления на автомобиль

$$F_{\text{дин max}} = \frac{\Delta m v_{\max}}{\Delta t} = \frac{\rho b' c v_{0\max} \Delta t v_{\max}}{\Delta t} = \rho b' c v_{0\max} v_{\max} \cdot$$

Наблюдения показали, что длина пласта падающего снега L может меняться примерно от 30 см до 1 м. Для наших расчетов возьмем некоторую усредненную величину $L = 60$ см. Время удара t мы оценивали, изучая “удар шаров”. Оно лежало в интервале от 118 мкс до 139 мкс. Поэтому для наших оценок мы выбрали время удара 2 мс.

Подставляя полученные данные, получаем:

$$F_{\text{дин max}} = \rho b' c v_{0\max} v_{\max} = 700 \cdot 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot 25,18 \cdot 0,5 \cdot 10 = 1057560 \text{ Н} = 1,1 \text{ МН}$$

Максимальная сила давления на автомобиль

$$F_{\text{max}} = F_{\text{ст max}} + F_{\text{дин max}} = 2100 \text{ Н} + 1057560 \text{ Н} = 1059660 \text{ Н} = 1,1 \text{ МН}.$$

Как видно из приведенных расчетов падение на автомобиль, стоящий на расстоянии 6 – 7 м от здания, небольшой порции снега со скоростью 91 км/час может, несомненно, нанести ему значительный ущерб.