

Международный семинар «Расчет и проектирование конструкций в среде SCAD 21», Москва 23-24 апреля 2019

О влиянии неравномерной снеговой нагрузки на некоторые конструкции покрытий зданий

Порываев И.А. – докладчик

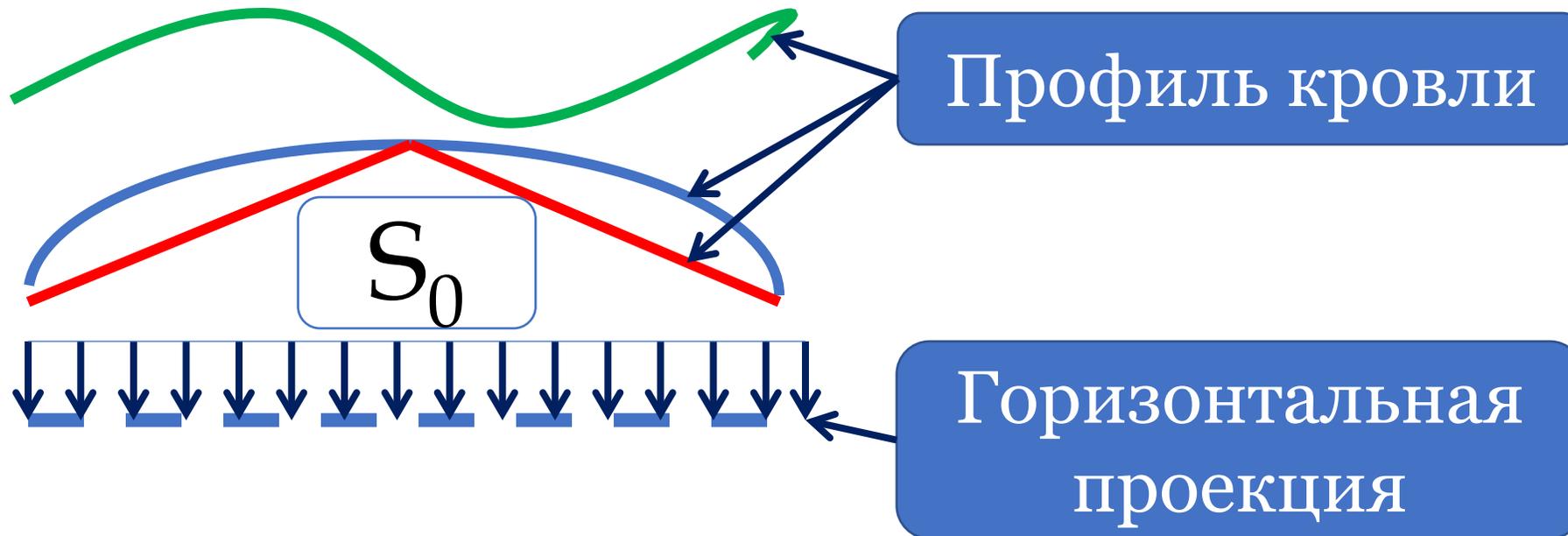
Семенов А.А.

Уфимский государственный нефтяной технический
университет

Снеговая нагрузка в СП 20.13330

Нормативное значение снеговой нагрузки на **горизонтальную проекцию** покрытия

$$S_0 = c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g$$



Снеговая нагрузка в СП 20.13330

10.4 Схемы распределения снеговой нагрузки и значения коэффициента μ для покрытий следует принимать в соответствии с приложением Б.

Для зданий и сооружений, имеющих габаритные размеры покрытия, превышающие 100 м в обоих направлениях, за исключением плоских покрытий однопролетных и многопролетных зданий (см. схемы Б.1 и Б.5 приложения Б), а также во всех случаях, не предусмотренных приложением Б (при иных формах покрытий, при необходимости учета различных направлений переноса снега по покрытию, близко расположенных зданий и сооружений окружающей застройки и т.п. случаях), схемы распределения снеговой нагрузки по покрытиям и значения коэффициента μ необходимо устанавливать в специальных рекомендациях, разработанных на основе результатов модельных испытаний в аэродинамических трубах, или с учетом данных, опубликованных в технической литературе.

В тех случаях, когда более неблагоприятные условия работы элементов конструкций возникают при частичном загрузении покрытия, следует рассматривать схемы со снеговой нагрузкой, действующей на половине или четверти его площади (для покрытий с фонарями – на участках шириной b).

Примечания

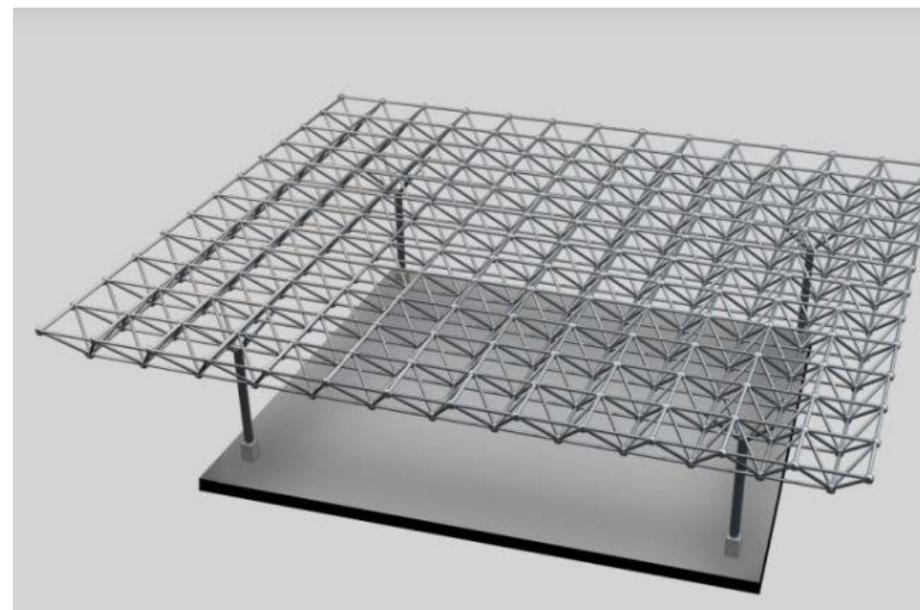
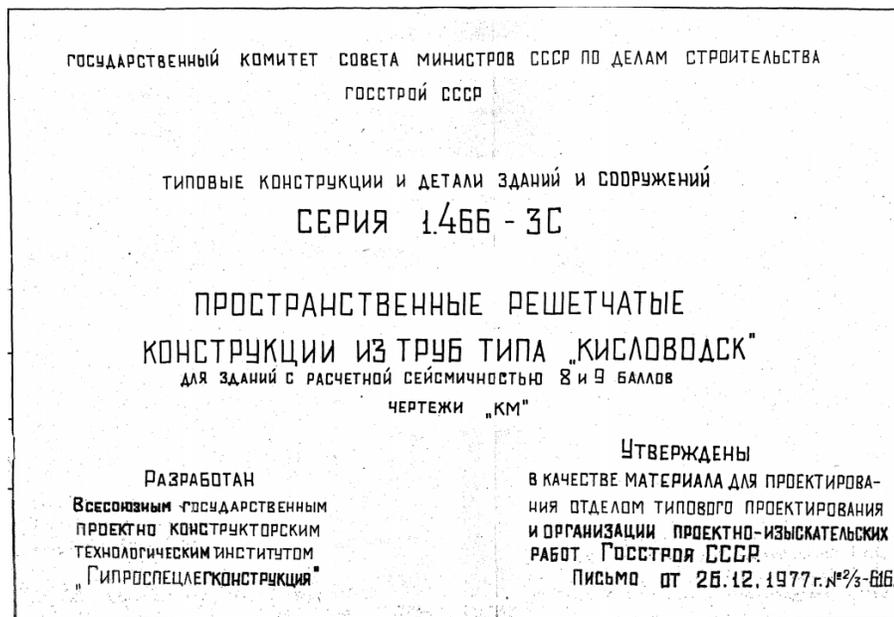
1 В необходимых случаях снеговые нагрузки следует определять с учетом предусмотренного дальнейшего расширения здания.

2 В приложении Б следует учитывать нормативное значение снеговой нагрузки $S_0 = S_g$.

3 При расчетах конструкций допускается применение упрощенных схем снеговых нагрузок, эквивалентных по воздействию схемам нагрузок, приведенным в приложении Б.

4 При расчете прогонов покрытий следует учесть локальную неравномерность снегоотложений введением дополнительного коэффициента $\mu = 1,1$ к нормативным значениям снеговой равномерно распределенной нагрузки.

Снеговая нагрузка в СП 20.13330



II. Расчетные положения.

Определение усилий в элементах стержневой системы от статической нагрузки произведено на ЭВМ по программе ЦНИИСК им.Кучеренко.

Расчет произведен на равномерно распределенную нагрузку интенсивностью 100 кгс/м^2 , расположенную по всей и по половине площади покрытия, а также учтена отсутствие снега на консолях.

Зарубежные нормы

5.2 Схемы приложения нагрузок

(1) При выполнении расчетов следует принимать две следующие основные схемы приложения нагрузок:

- нагрузка снега на покрытие без учета заноса (см. 1.6.5);
- нагрузка снега на покрытие с учетом заноса (см. 1.6.6).

(2) Схемы приложения нагрузок следует определять согласно 5.3 и приложению В, если это установлено в соответствии с 3.3.

SECTION 7.6 UNBALANCED ROOF SNOW LOADS

Balanced and unbalanced loads shall be analyzed separately. Winds from all directions shall be accounted for when establishing unbalanced loads.

SECTION 7.5 PARTIAL LOADING

The effect of having selected spans loaded with the balanced snow load and remaining spans loaded with half the balanced snow load shall be investigated as follows:

7.5.1 Continuous Beam Systems. Continuous beam systems shall be investigated for the effects of the three loadings shown in Figure 7-4:

Case 1: Full balanced snow load on either exterior span and half the balanced snow load on all other spans.

Case 2: Half the balanced snow load on either exterior span and full balanced snow load on all other spans.

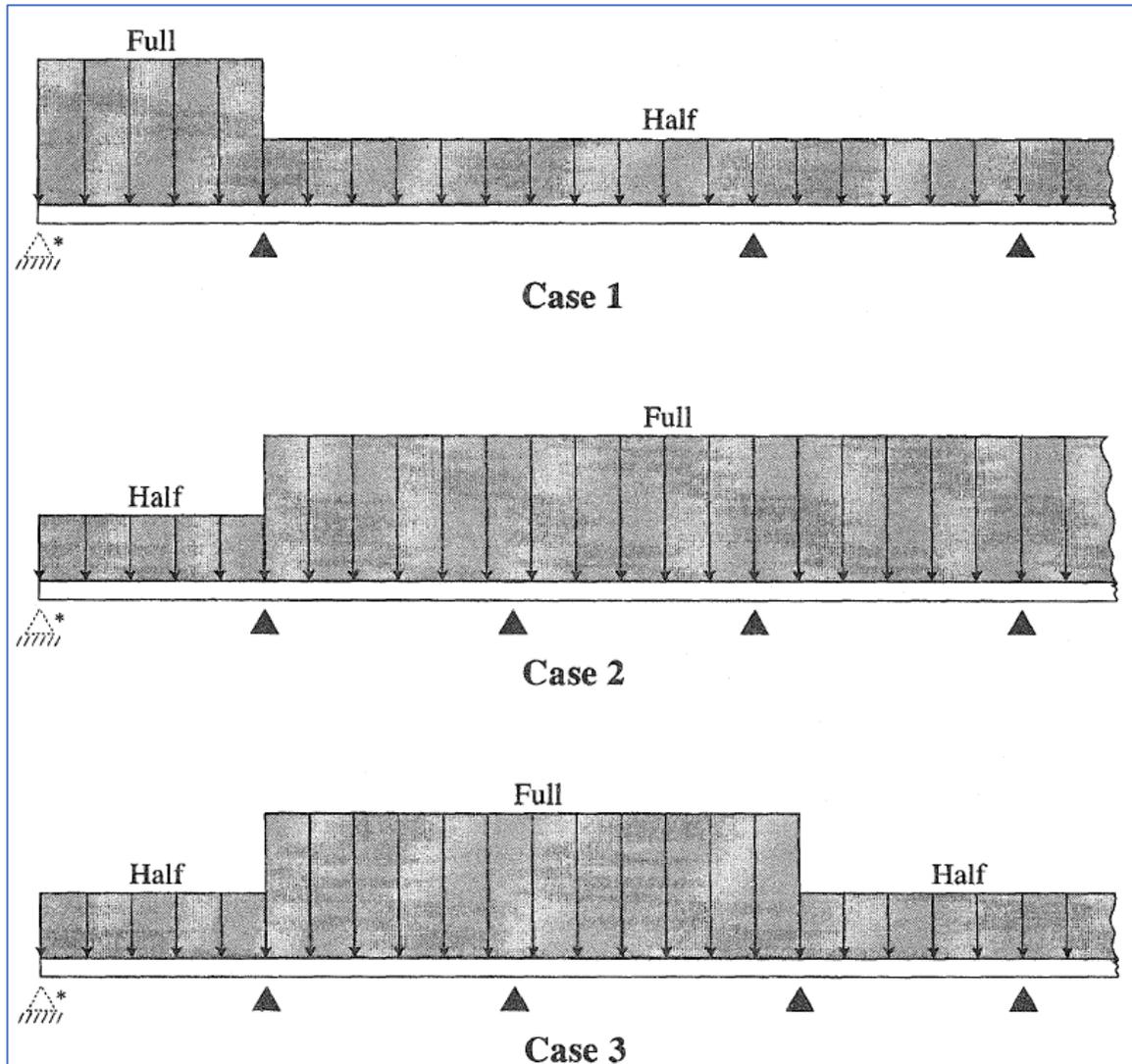
Case 3: All possible combinations of full balanced snow load on any two adjacent spans and half the balanced snow load on all other spans. For this case there will be $(n - 1)$ possible combinations where n equals the number of spans in the continuous beam system.

If a cantilever is present in any of the above cases, it shall be considered to be a span.

Partial load provisions need not be applied to structural members that span perpendicular to the ridge line in gable roofs with slopes greater than $70/W + 0.5$ with W in ft (in SI: $21.3/W + 0.5$, with W in m).

7.5.2 Other Structural Systems. Areas sustaining only half the balanced snow load shall be chosen so as to produce the greatest effects on members being analyzed.

Зарубежные нормы



SECTION 7.5 PARTIAL LOADING

The effect of having selected spans loaded with the balanced snow load and remaining spans loaded with half the balanced snow load shall be investigated as follows:

7.5.1 Continuous Beam Systems. Continuous beam systems shall be investigated for the effects of the three loadings shown in Figure 7-4:

Case 1: Full balanced snow load on either exterior span and half the balanced snow load on all other spans.

Case 2: Half the balanced snow load on either exterior span and full balanced snow load on all other spans.

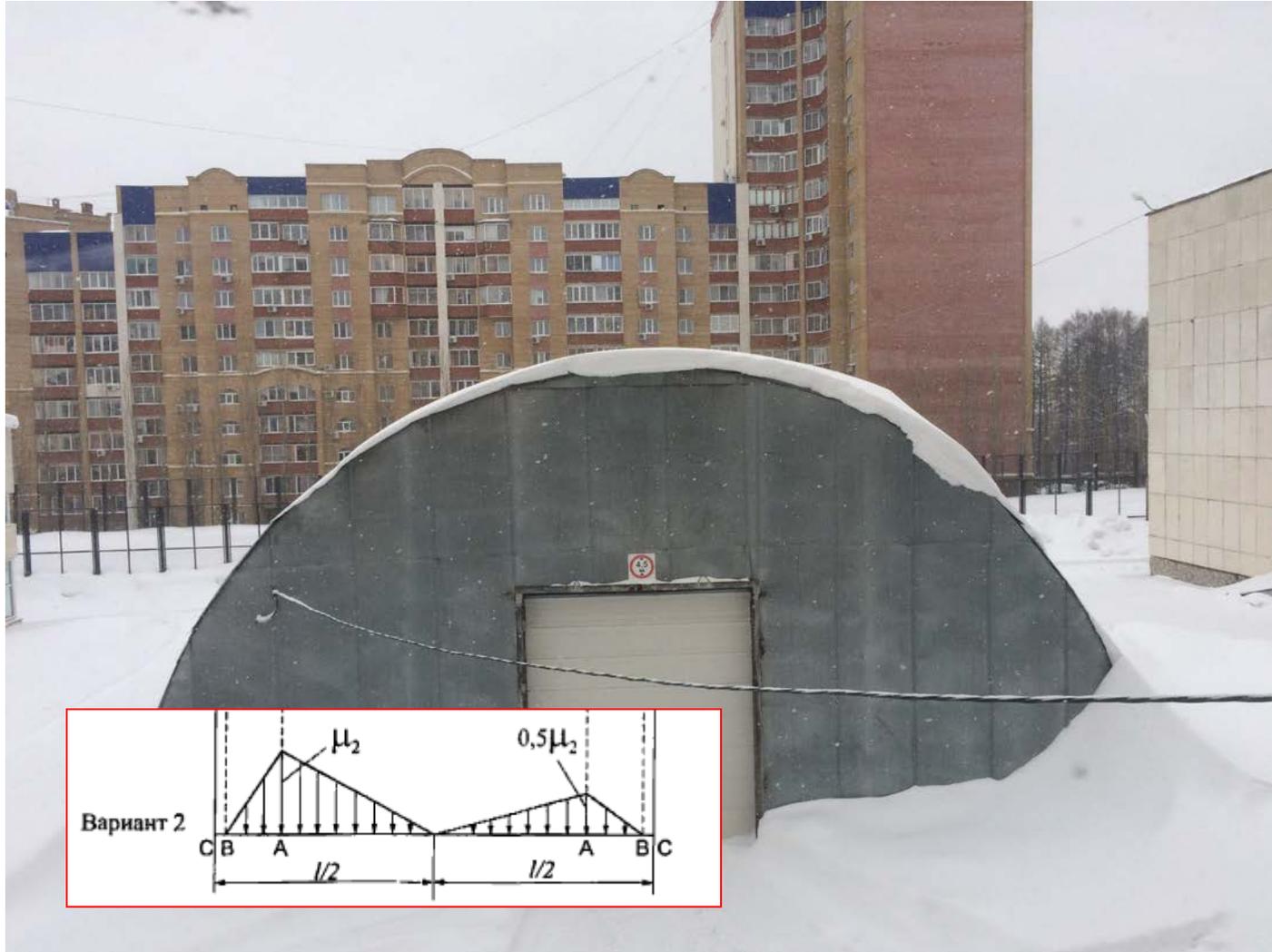
Case 3: All possible combinations of full balanced snow load on any two adjacent spans and half the balanced snow load on all other spans. For this case there will be $(n - 1)$ possible combinations where n equals the number of spans in the continuous beam system.

If a cantilever is present in any of the above cases, it shall be considered to be a span.

Partial load provisions need not be applied to structural members that span perpendicular to the ridge line in gable roofs with slopes greater than $70/W + 0.5$ with W in ft (in SI: $21.3/W + 0.5$, with W in m).

7.5.2 Other Structural Systems. Areas sustaining only half the balanced snow load shall be chosen so as to produce the greatest effects on members being analyzed.

Снеговая нагрузка на здания и сооружения

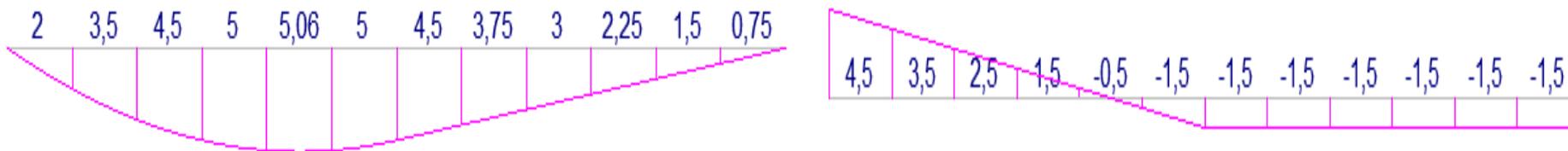
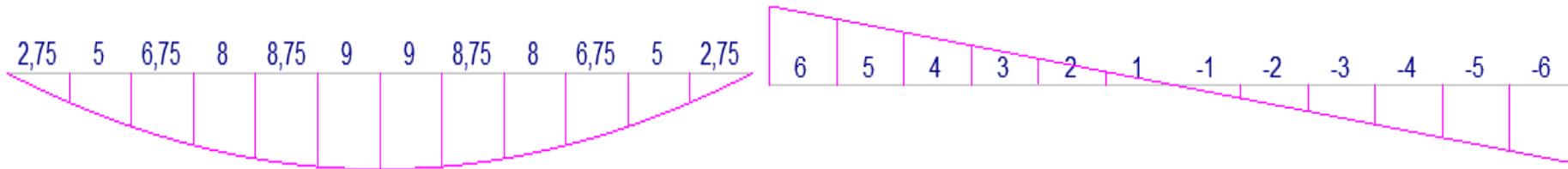


Снеговая нагрузка на здания и сооружения

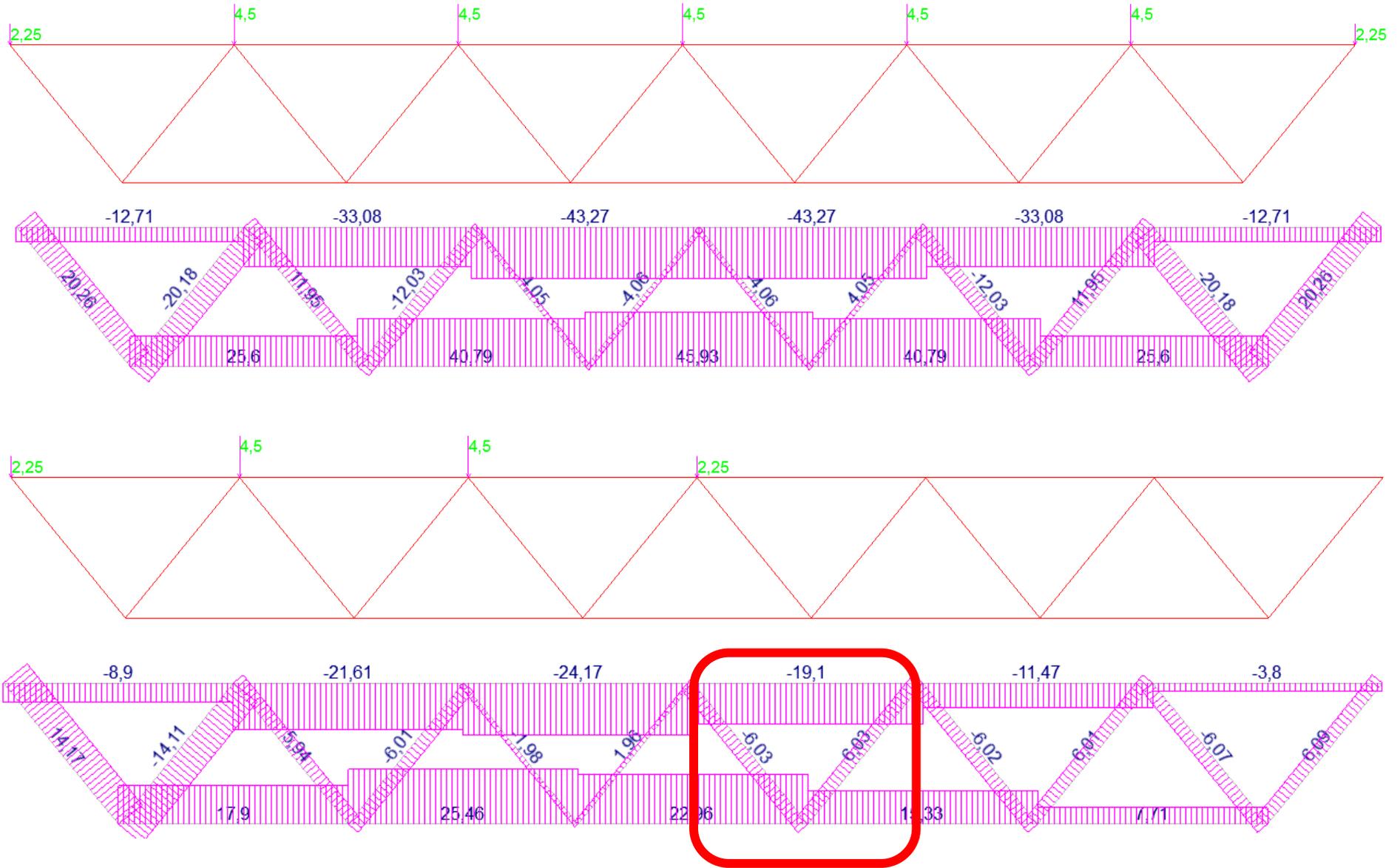


Напряженно-деформированное состояние конструкций при неравномерной снеговой нагрузке

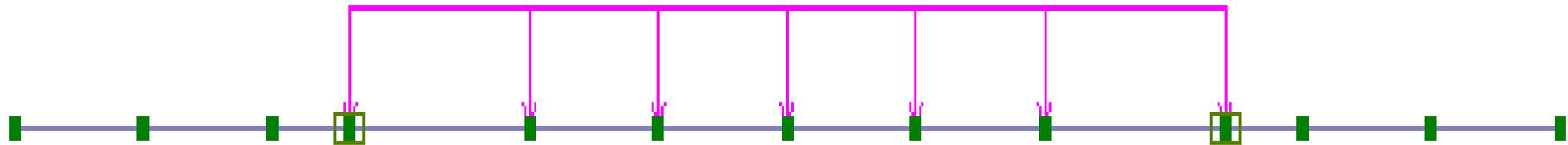
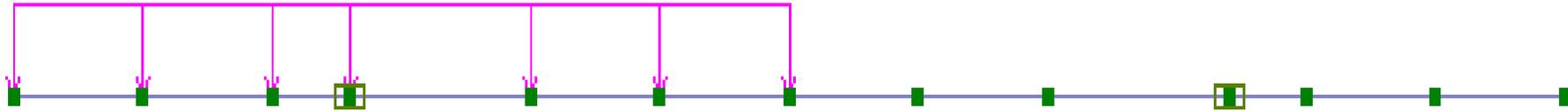
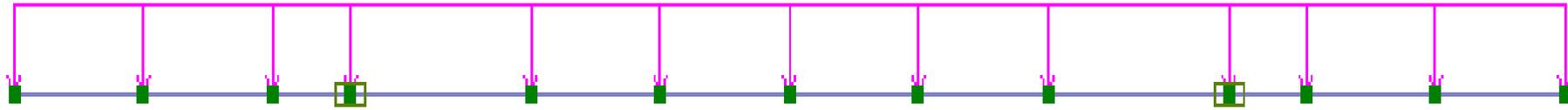
Плоские покрытия



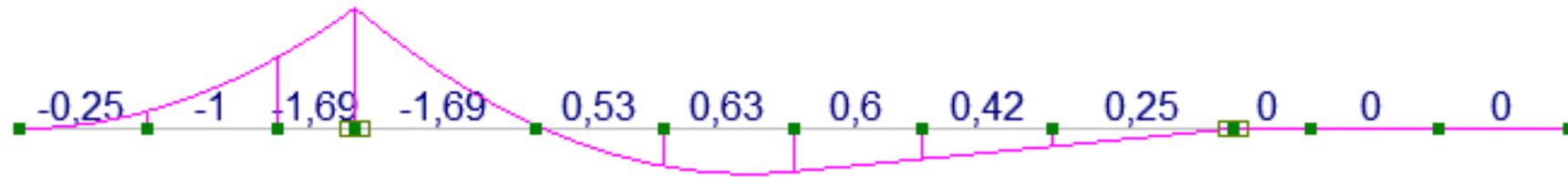
Плоские покрытия



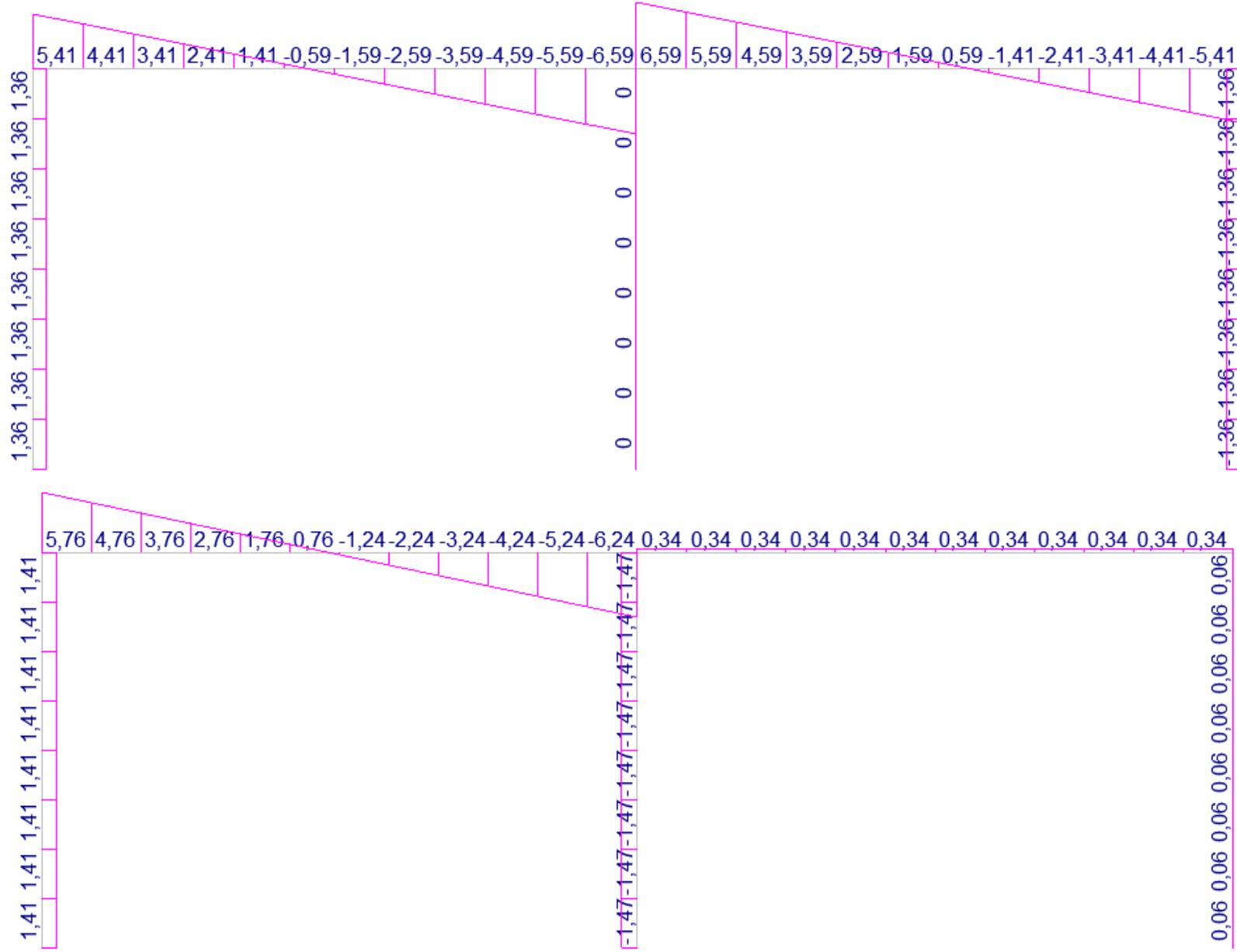
Плоские покрытия



Плоские покрытия

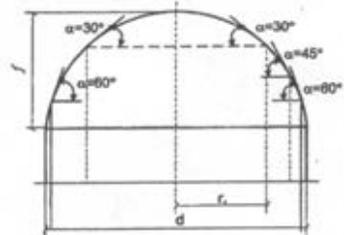


Плоские покрытия



Сферические и конические крыши на круглом плане

Б.13 ЗДАНИЯ С КУПОЛЬНЫМИ КРУГОВЫМИ И БЛИЗКИМИ К НИМ ПО ОЧЕРТАНИЮ ПОКРЫТИЯМИ



Вариант 1



Вариант 2



Вариант 3

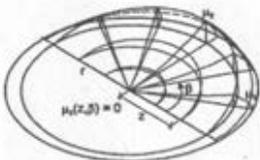
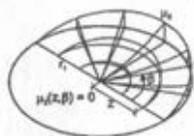


Рисунок Б.13

а) Для зданий с купольными круговыми и близкими к ним по очертанию покрытиями (рисунок Б.13) коэффициент μ_1 определяется по таблице Б.2. Промежуточные значения определяются линейной интерполяцией;

Таблица Б.2

| Уклон покрытия α , град. | μ_1 |
|---------------------------------|---------|
| $\alpha \leq 30^\circ$ | 1 |
| $\alpha \geq 60^\circ$ | 0 |

б) для пологих куполов с отношением $f/d \leq 0,05$ следует учитывать только вариант 1;

в) для куполов с отношением $f/d > 0,05$ следует учитывать варианты 1, 2 и 3, при уклонах $\alpha < 60^\circ$;

г) для варианта 2 на рисунке Б.13 следует принимать при $z \leq r_1$ $\mu_2 = C_{r1}(z/r_1)^2 \sin \beta$, где

$$C_{r1} = 2,55 - \exp\left(0,8 - 14 \frac{f}{d}\right);$$

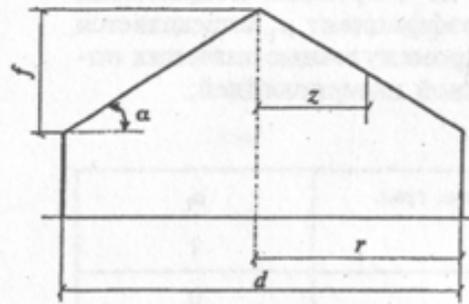
при $z > r_1$ $\mu_3 = 1,5 \sin \beta$, при $\alpha = 45^\circ$;
 $\mu_3 = 0$, при $\alpha > 60^\circ$.

Промежуточные значения между μ_2 и μ_3 определяются линейной интерполяцией;

д) для варианта 3 $\mu_2 = \sqrt{\frac{2z}{d}} \sin 3\alpha \sin \beta$.

Вариант 3 следует учитывать для куполов с $f/d > 0,05$ при сильно шероховатой поверхности покрытия, наличии на нем возвышающихся надстроек, фонарей или снегозадерживающих преград, а также для покрытий, защищенных от ветра соседними более высокими зданиями или объектами окружающей застройки.

Б.14 ЗДАНИЯ С КОНИЧЕСКИМИ КРУГОВЫМИ ПОКРЫТИЯМИ



Вариант 1



Вариант 2

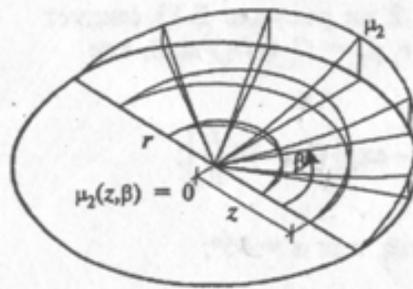


Рисунок Б.14

а) Для зданий с коническими круговыми покрытиями (рисунок Б.14) коэффициент μ_1 определяется по таблице Б.3. Промежуточные значения определяются линейной интерполяцией;

Таблица Б.3

| Уклон покрытия α , град. | μ_1 |
|---------------------------------|---------|
| $\alpha \leq 30^\circ$ | 1 |
| $\alpha \geq 60^\circ$ | 0 |

б) для пологих куполов при $\alpha \leq 7^\circ$ следует учитывать только вариант 1;

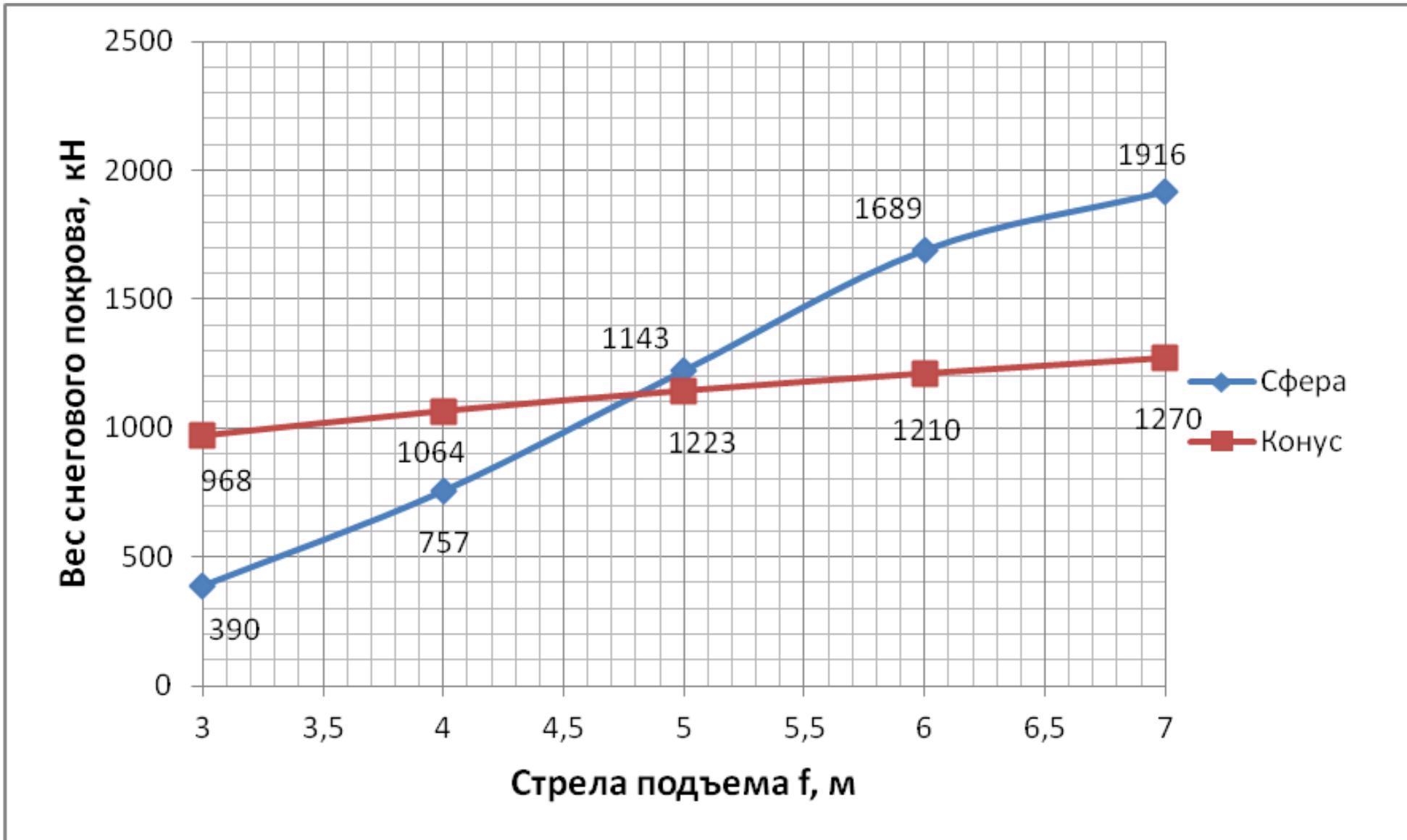
в) для менее пологих куполов при $7^\circ < \alpha \leq 30^\circ$ для варианта 2 следует принимать

$$\mu_2 = C_{r2}(z/r) \sin \beta, \text{ где } C_{r2} = 2,15 \sqrt{\frac{\alpha \pi}{180^\circ}};$$

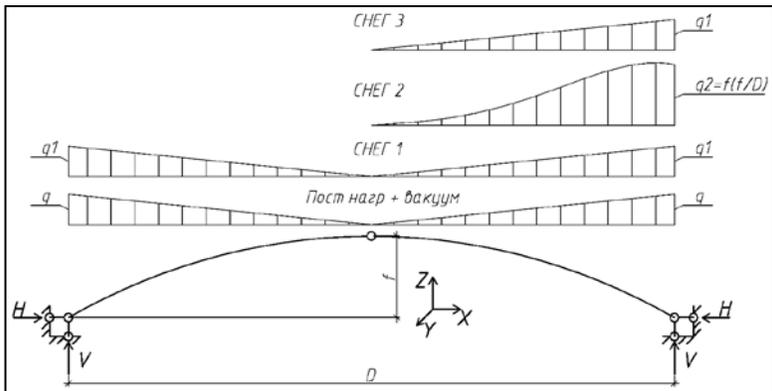
г) при $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ для варианта 2 следует принимать

$$\mu_2 = C_{r2}(z/r) \sin \beta, \\ C_{r2} = 1,7 \times 30^\circ / \alpha.$$

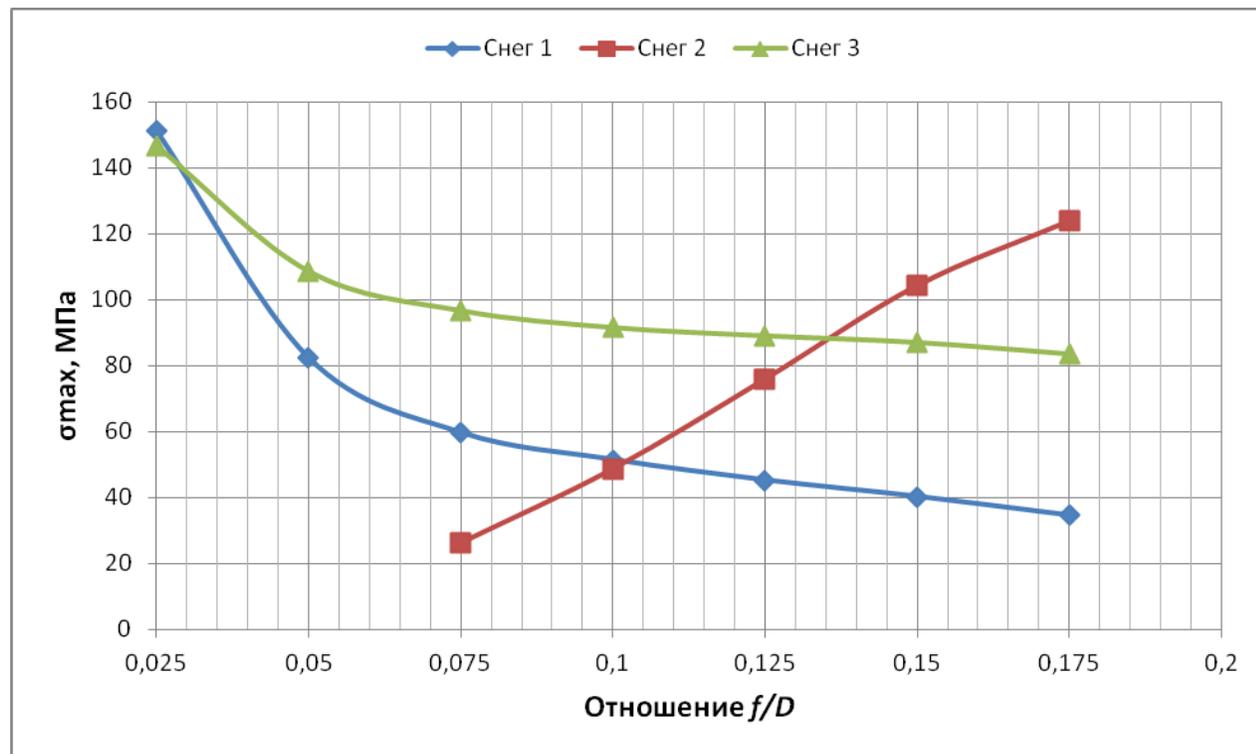
Сферические и конические крыши на круглом плане



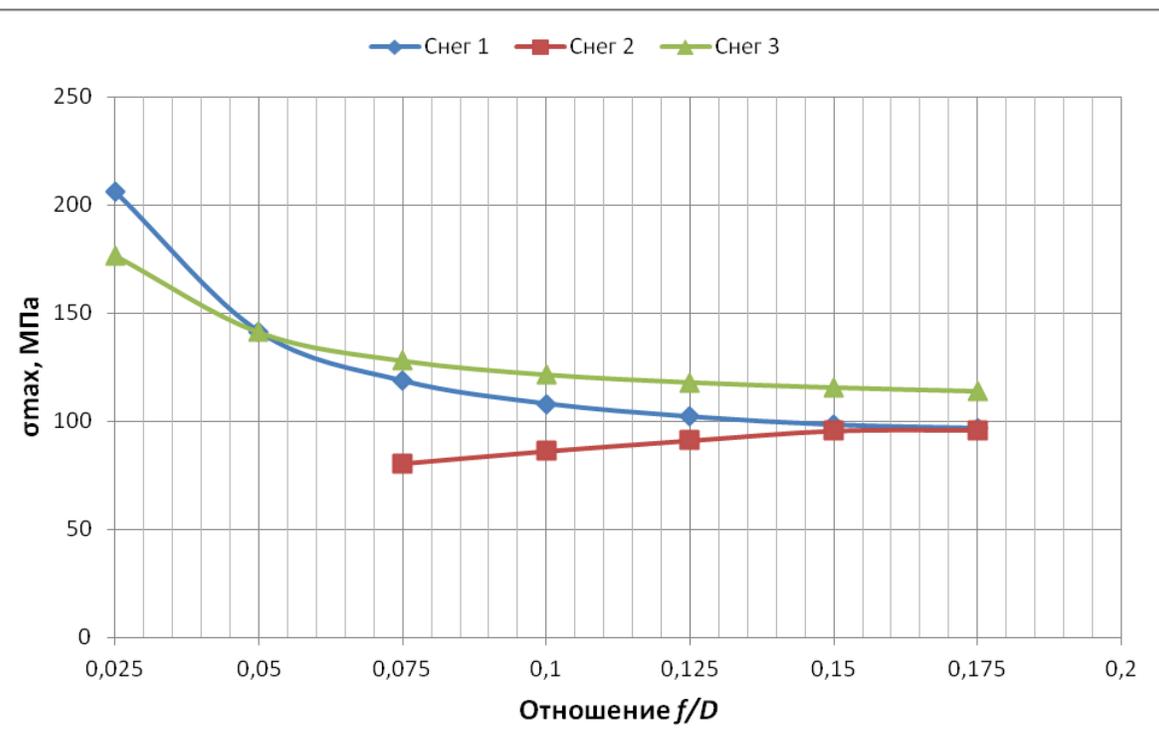
Сферические и конические крыши на круглом плане



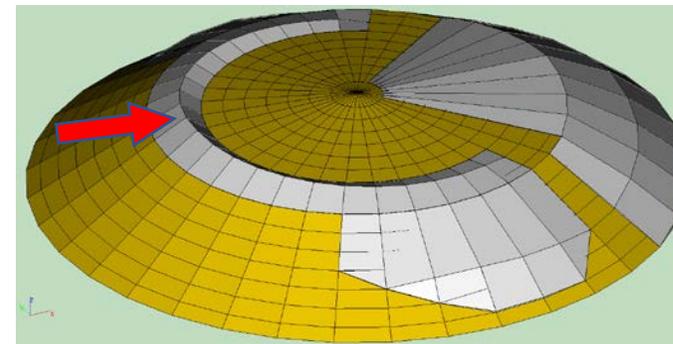
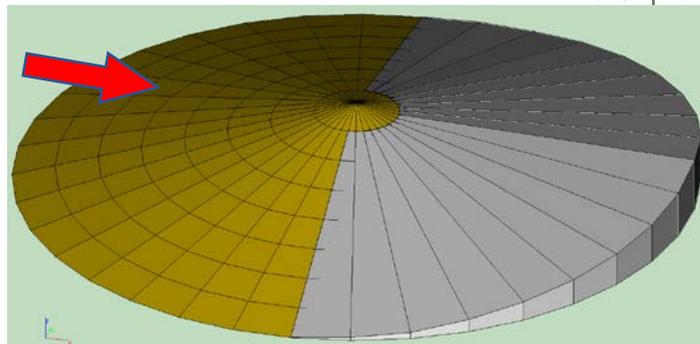
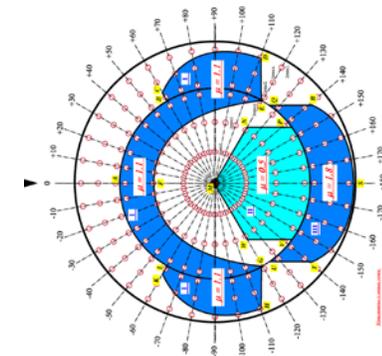
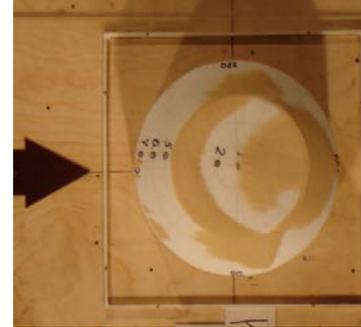
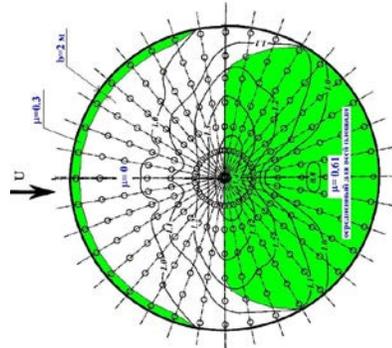
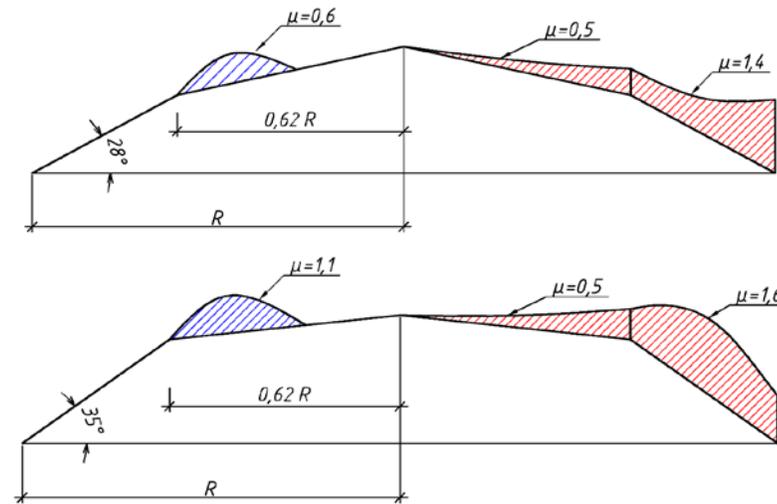
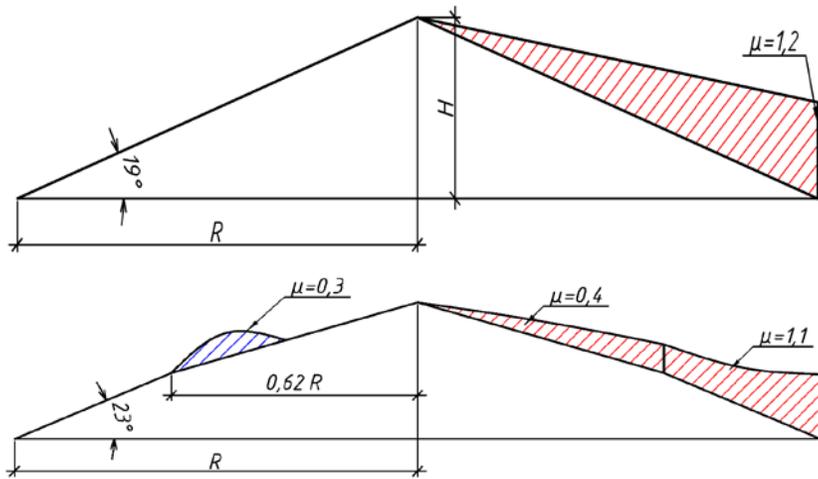
Сфера



Конус



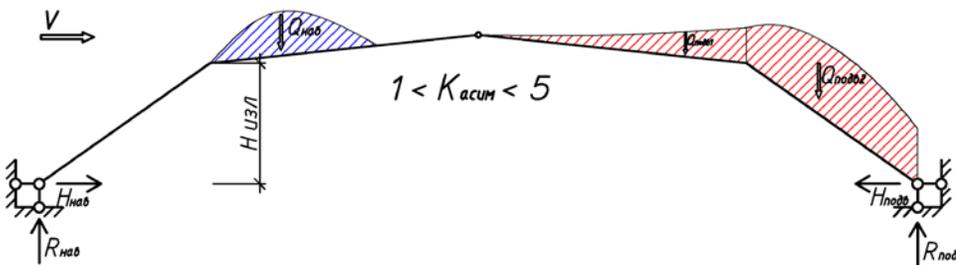
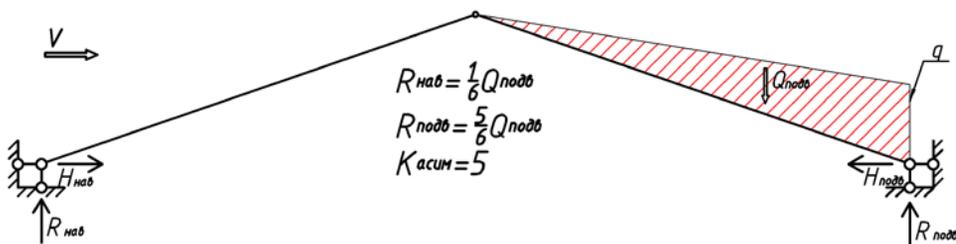
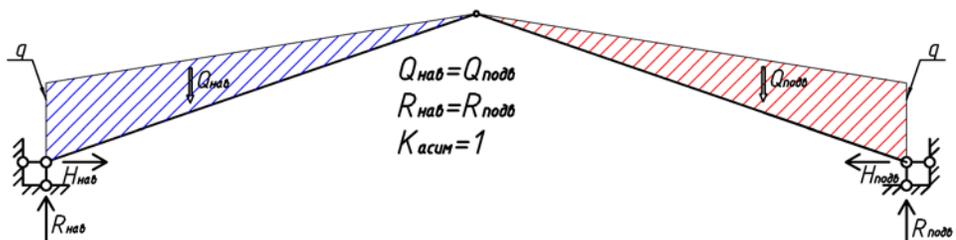
«Нестандартные» формы крыши



Анализ распределения снеговых масс по крышам

Коэффициент асимметрии распределения снеговых масс по крыше

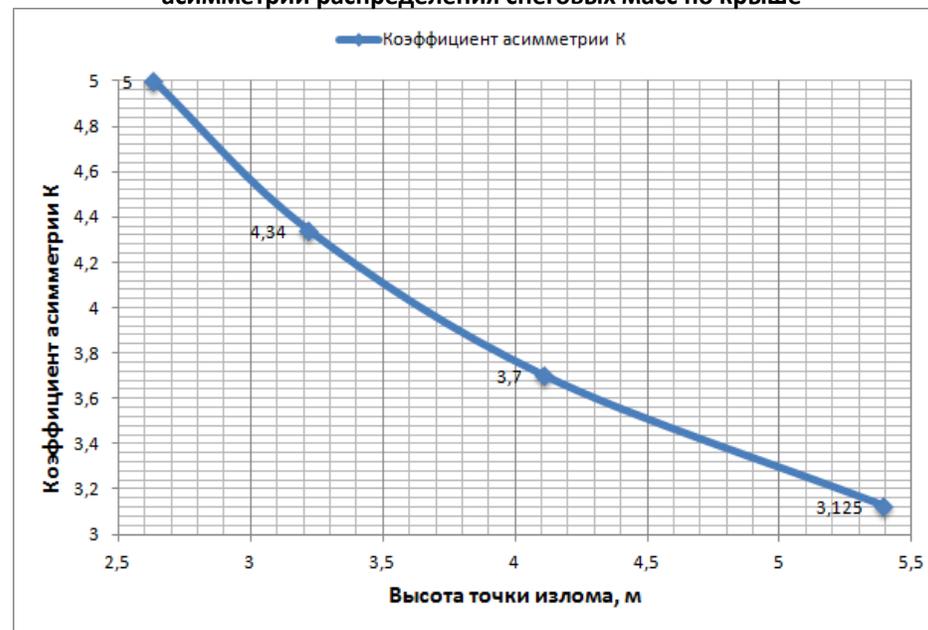
$$K_{асим} = \frac{R_{подв}}{R_{нав}}$$



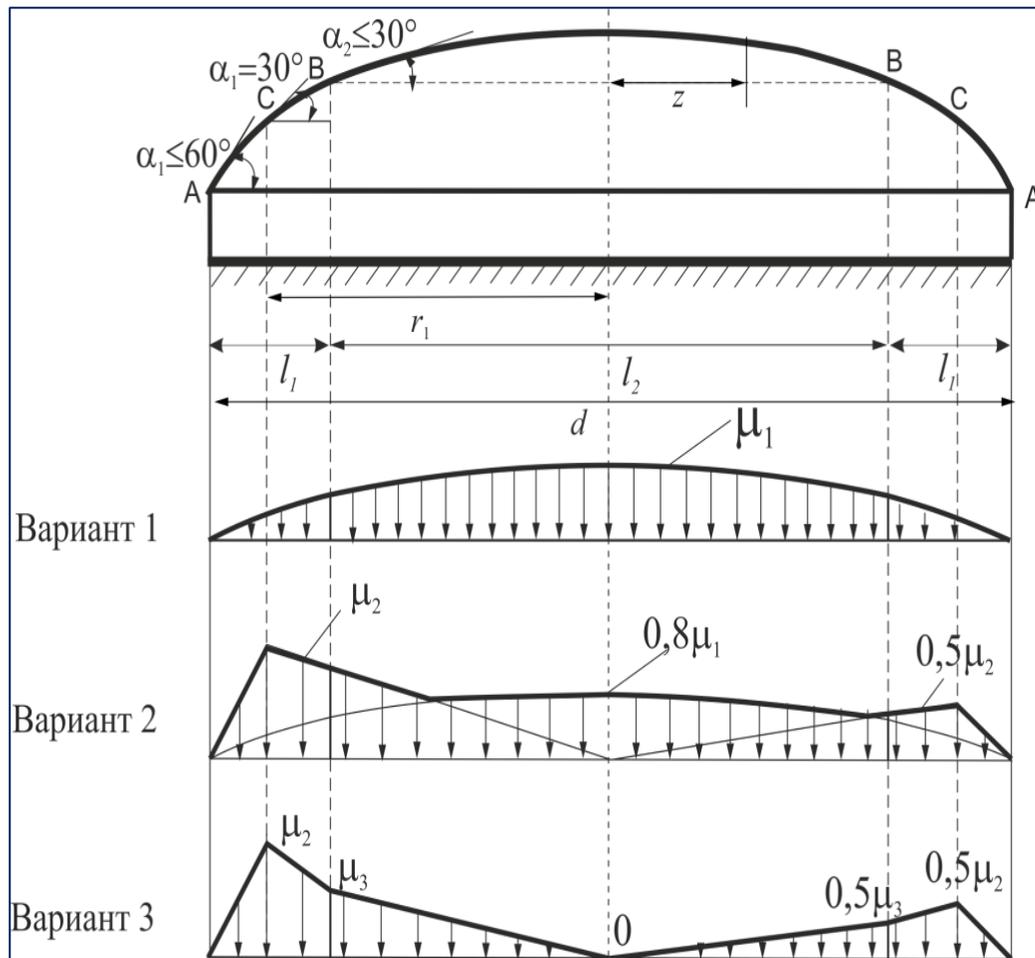
Площадь эпюр коэффициентов μ

| Форма крыши | Площадь эпюры коэффициентов перехода μ , S_μ | | | | Опорные реакции | |
|------------------------|---|----------------------|--------|-------|--------------------|------------|
| | Наветре нная сторона | Подветренная сторона | | | $R_{нав}$ | $R_{подв}$ |
| | | Зона 1 | Зона 2 | Итого | | |
| Конус (СП 20.13330) | 0 | 12,0 | | | 70,98 | 354,9 |
| Конус (эксперимент) | 0 | 12,1 | | | 71,1 | 355,0 |
| В 1.1 | 1,5 | 4,96 | 7,6 | 12,56 | 56,7 | 242,0 |
| В 1.2 | 3 | 6,2 | 9,12 | 15,32 | 84,8 | 309,4 |
| В 1.3 | 5,5 | 6,2 | 10,26 | 16,46 | 121,7 | 372,2 |

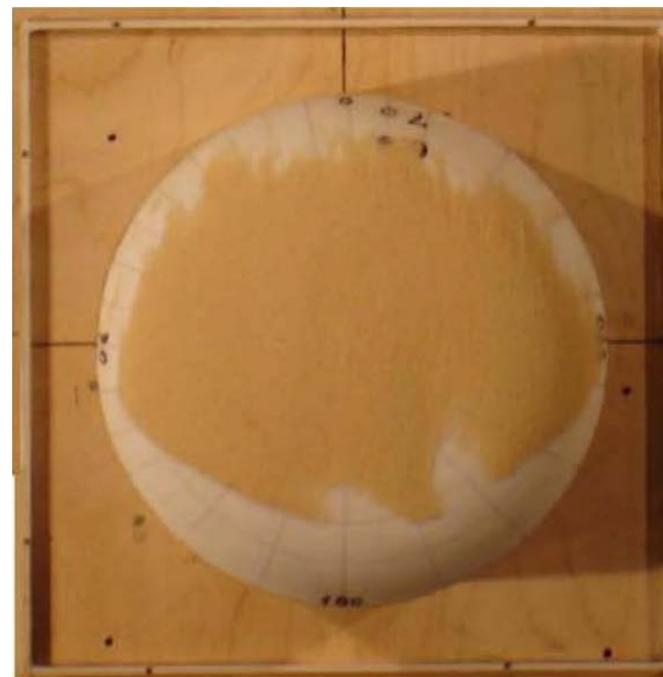
Зависимость между положением точки излома крыши и коэффициентом асимметрии распределения снеговых масс по крыше



Проект изменения 2 к СП 20.13330

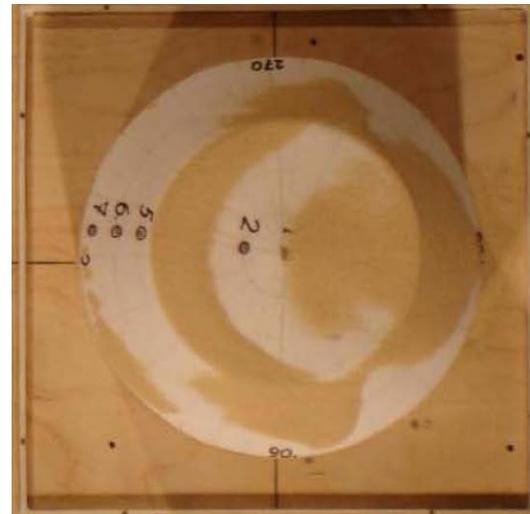
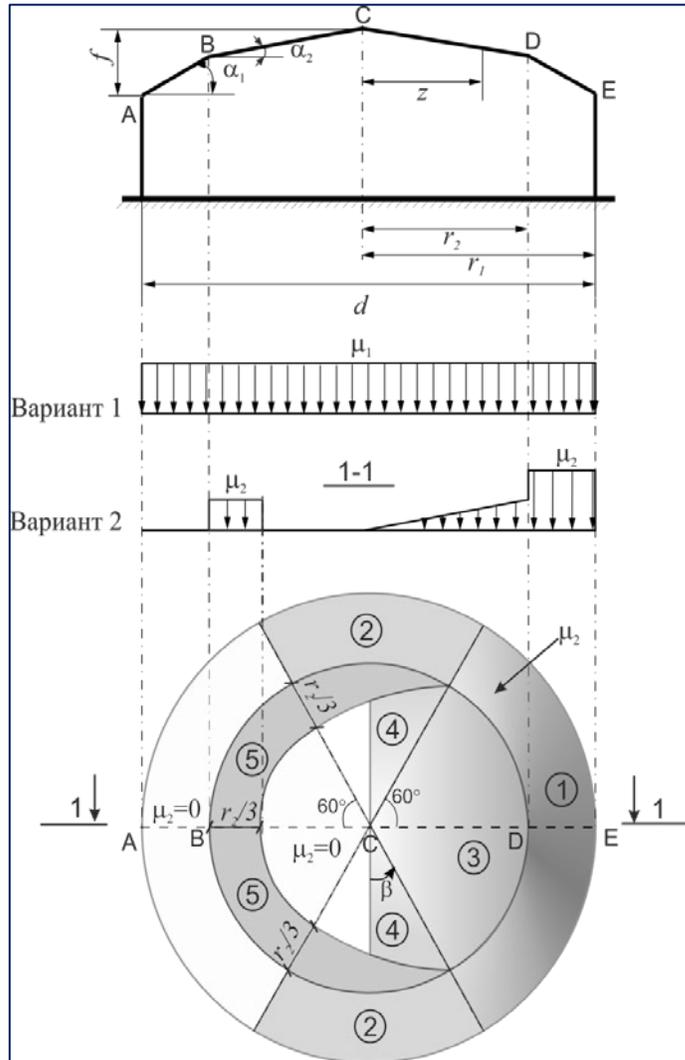


Покрытие в виде сочетания двух сферических поверхностей различной кривизны

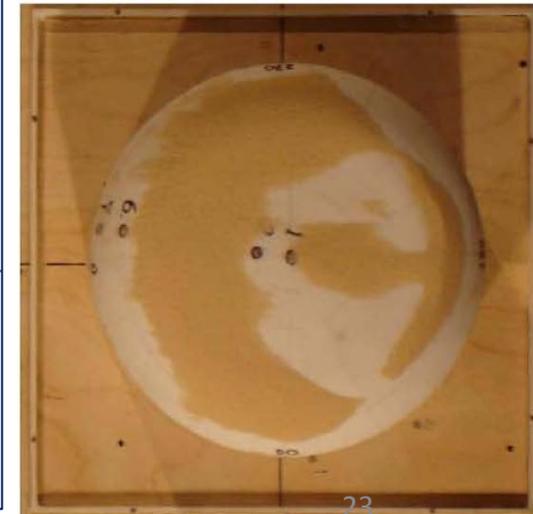
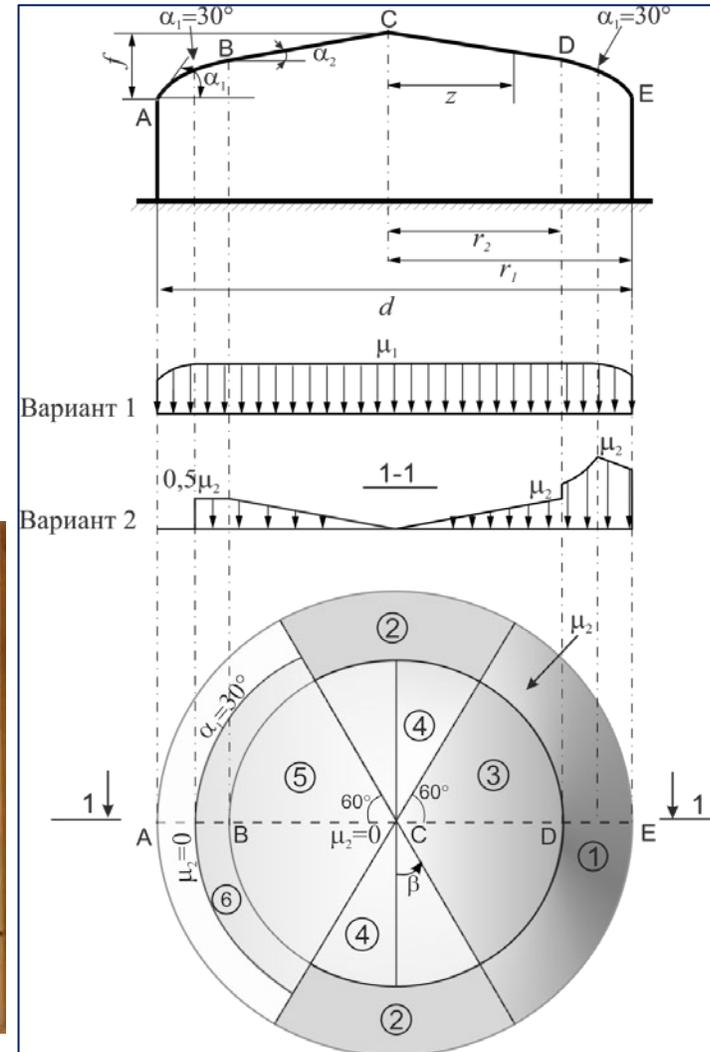


Проект изменения 2 к СП 20.13330

Сочетание двух конических поверхностей



Сочетание конической и сферической поверхностей



Выводы

- При расчете конструкций покрытий зданий и сооружений необходимо учитывать неравномерную снеговую нагрузку вызванную как перемещением снеговых масс под действием ветра, так и частичным загрузением покрытия
- Неравномерные снеговые нагрузки приводят к изменению характера напряженно-деформированного состояния отдельных элементов покрытий. В неразрезных системах усилия от неравномерных нагрузок могут возрастать до 2-х раз
- Наиболее чувствительны к неравномерным снеговым нагрузкам несущие конструкции симметричного кругового очертания (арки на прямоугольном плане, купола на круглом)
- Для оценки эффективности конструкций покрытий зданий в условиях высоких снеговых нагрузок необходимо дополнительно использовать критерии, характеризующие распределение снеговых масс по крыше. В качестве одного из таких критериев предложен коэффициент асимметрии распределения снеговых масс по крыше $K_{асим} = \frac{R_{подв}}{R_{нав}}$
- В проект изменения № 2 к СП 20.13330 включены схемы распределения снеговых нагрузок по крышам образованным сопряжением двух сферических и конических поверхностей. Коэффициент асимметрии распределения снеговых масс для таких крыш значительно ниже по сравнению с коническими и сферическими крышами

Международный семинар «Расчет и проектирование конструкций в среде SCAD 21», Москва 23-24 апреля 2019

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Порываев Илья

iporivaev@gmail.com

Уфимский
государственный
нефтяной технический
университет