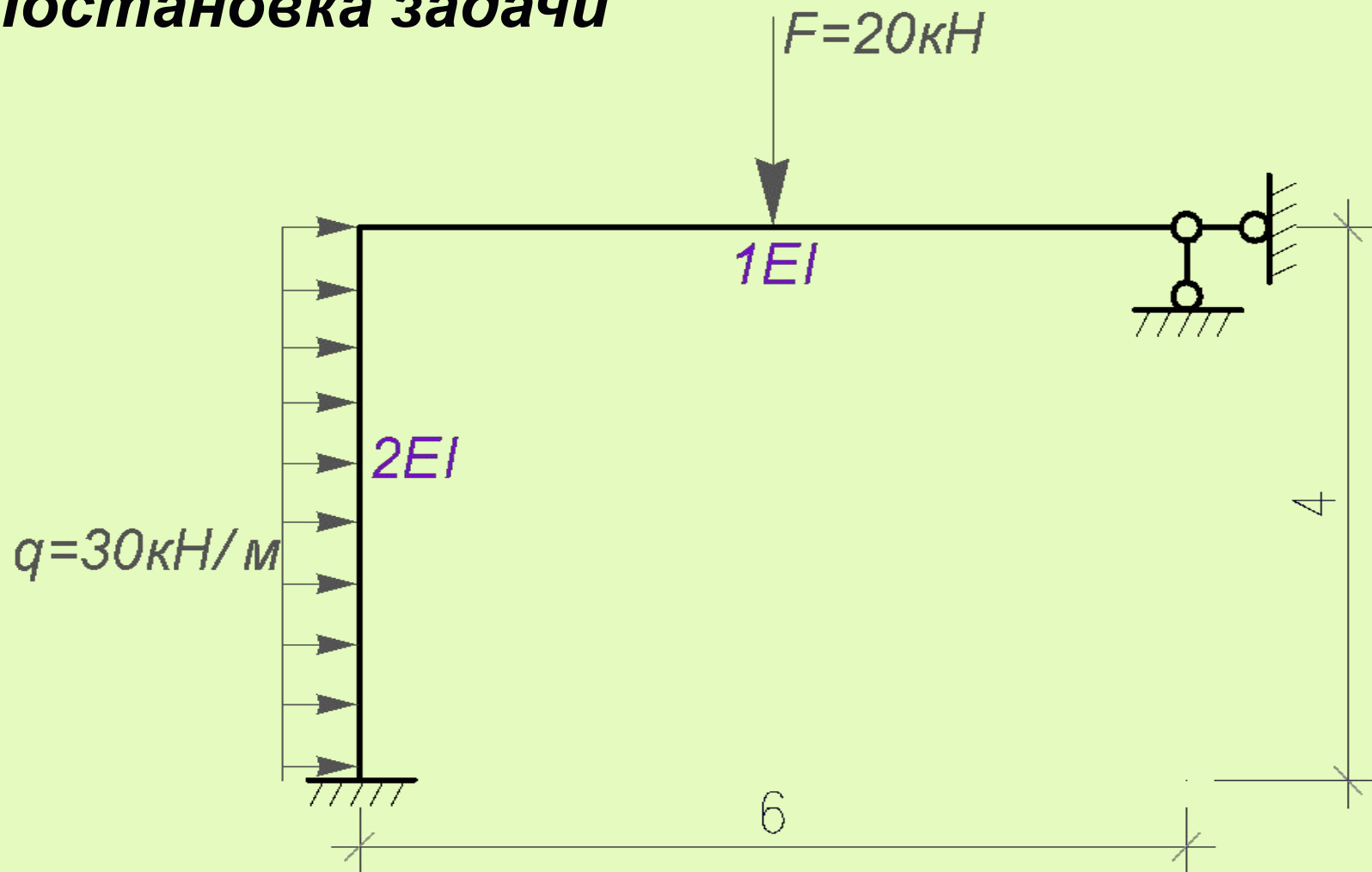


Расчёт статически неопределимой рамы методом перемещений

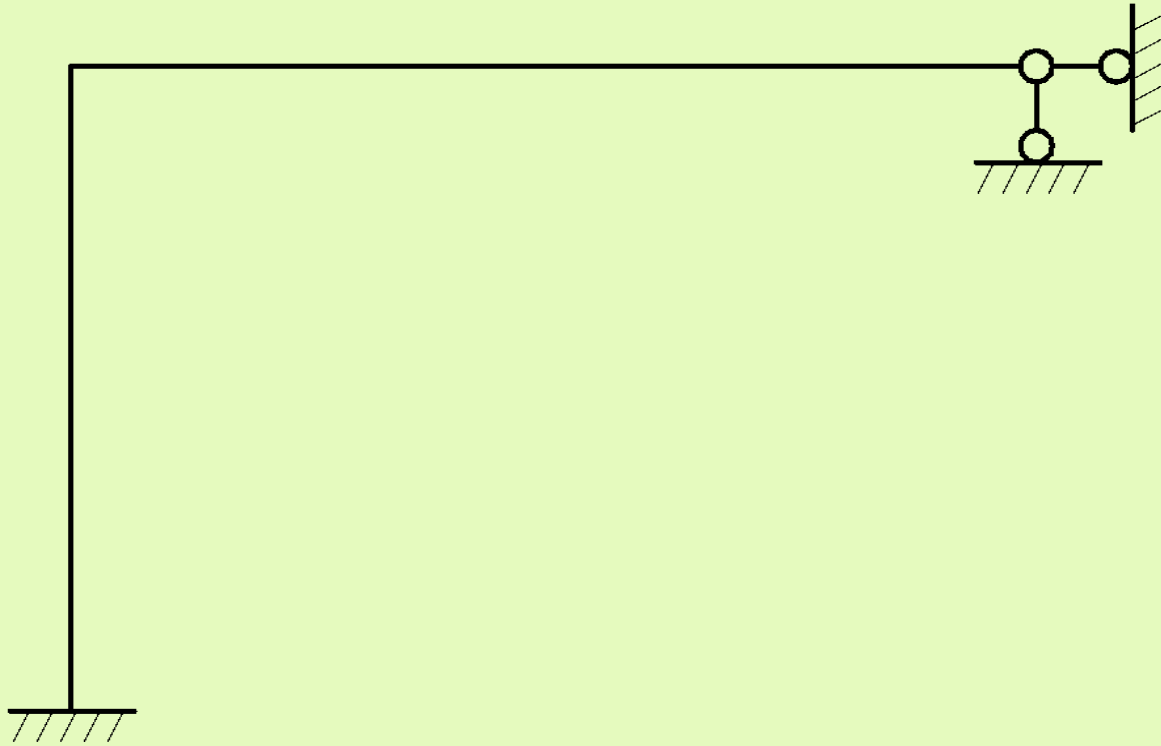
Постановка задачи



Для заданной системы необходимо:

1. Раскрыть кинематическую неопределимость;
2. Построить эпюры внутренних усилий M , Q , N .

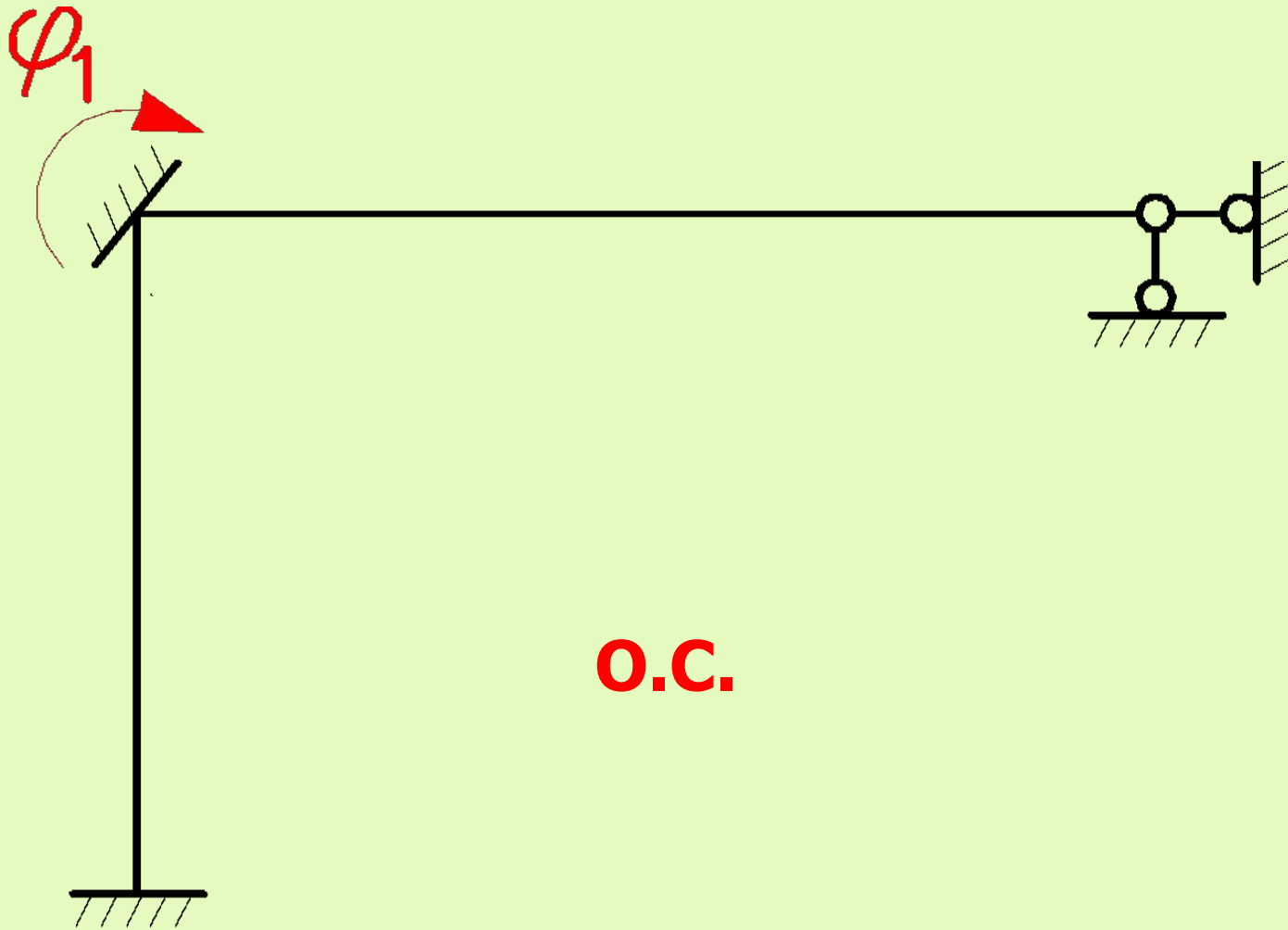
1. Степень кинематической неопределенности



$$N = n_y + n_l = 1 + 0 = 1$$

2. Основная система

$$N = n_y = 1$$

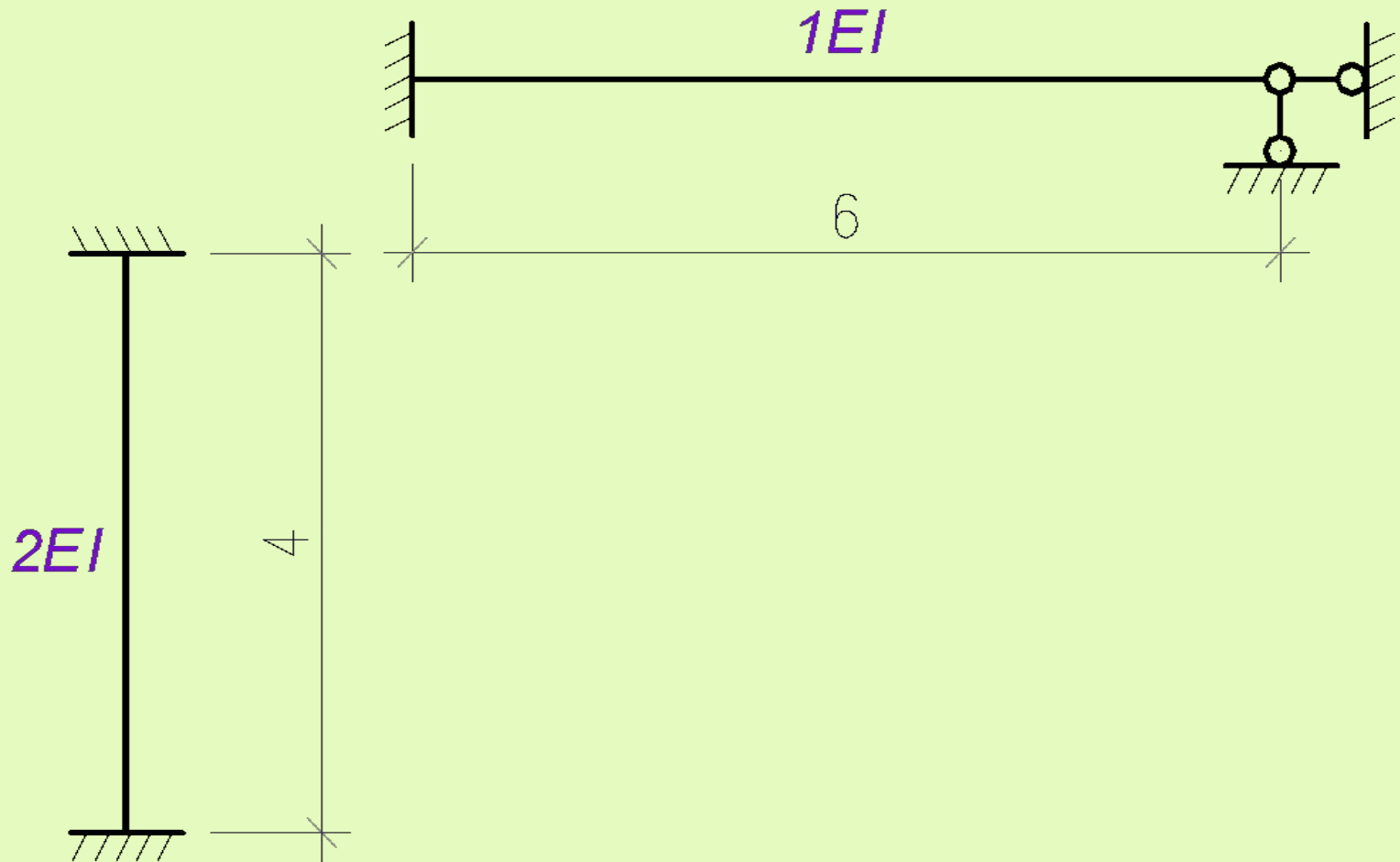


3. Канонические уравнения метода сил

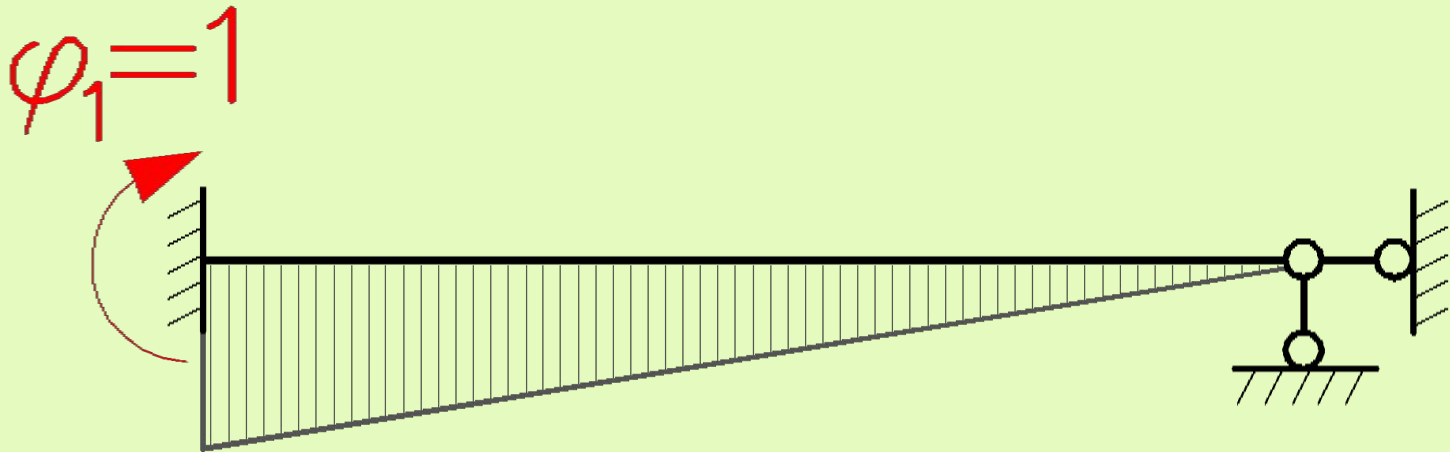
$$N = 1$$

$$r_{11} \cdot \varphi_1 + R_{1F} = 0$$

4. Определение перемещений от единичной нагрузки

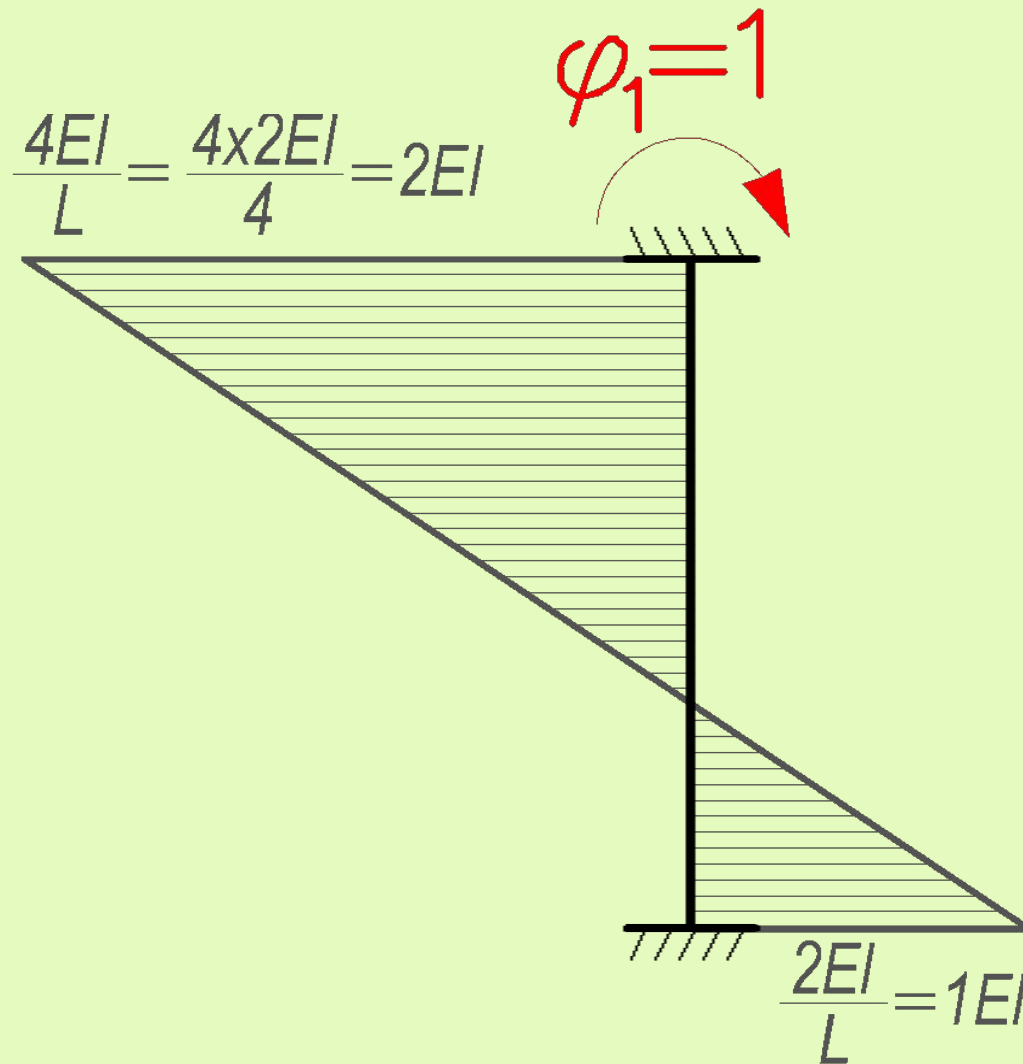


4. Определение перемещений от единичной нагрузки

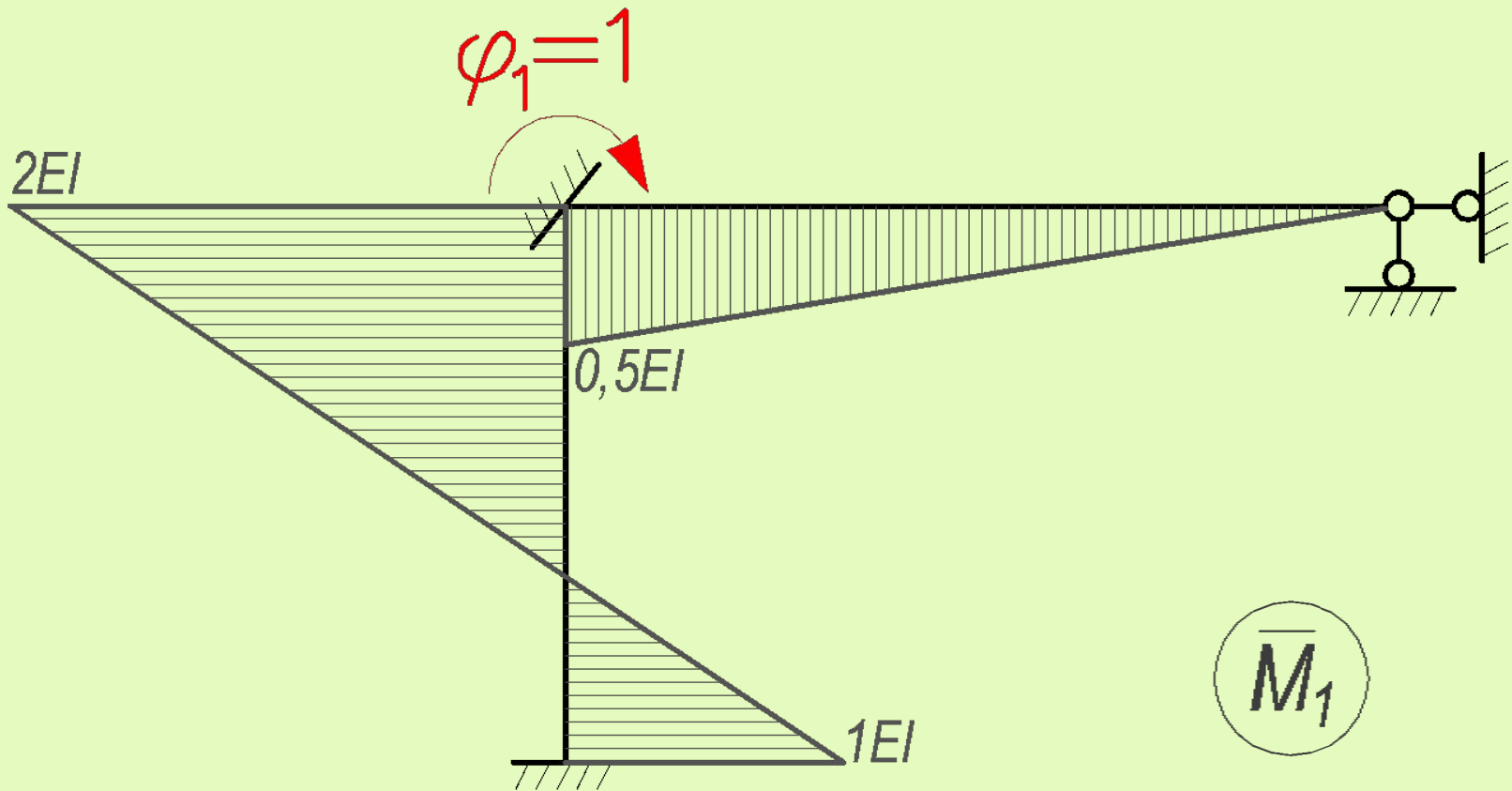


$$\frac{3EI}{L} = \frac{3 \times 1 EI}{6} = 0,5EI$$

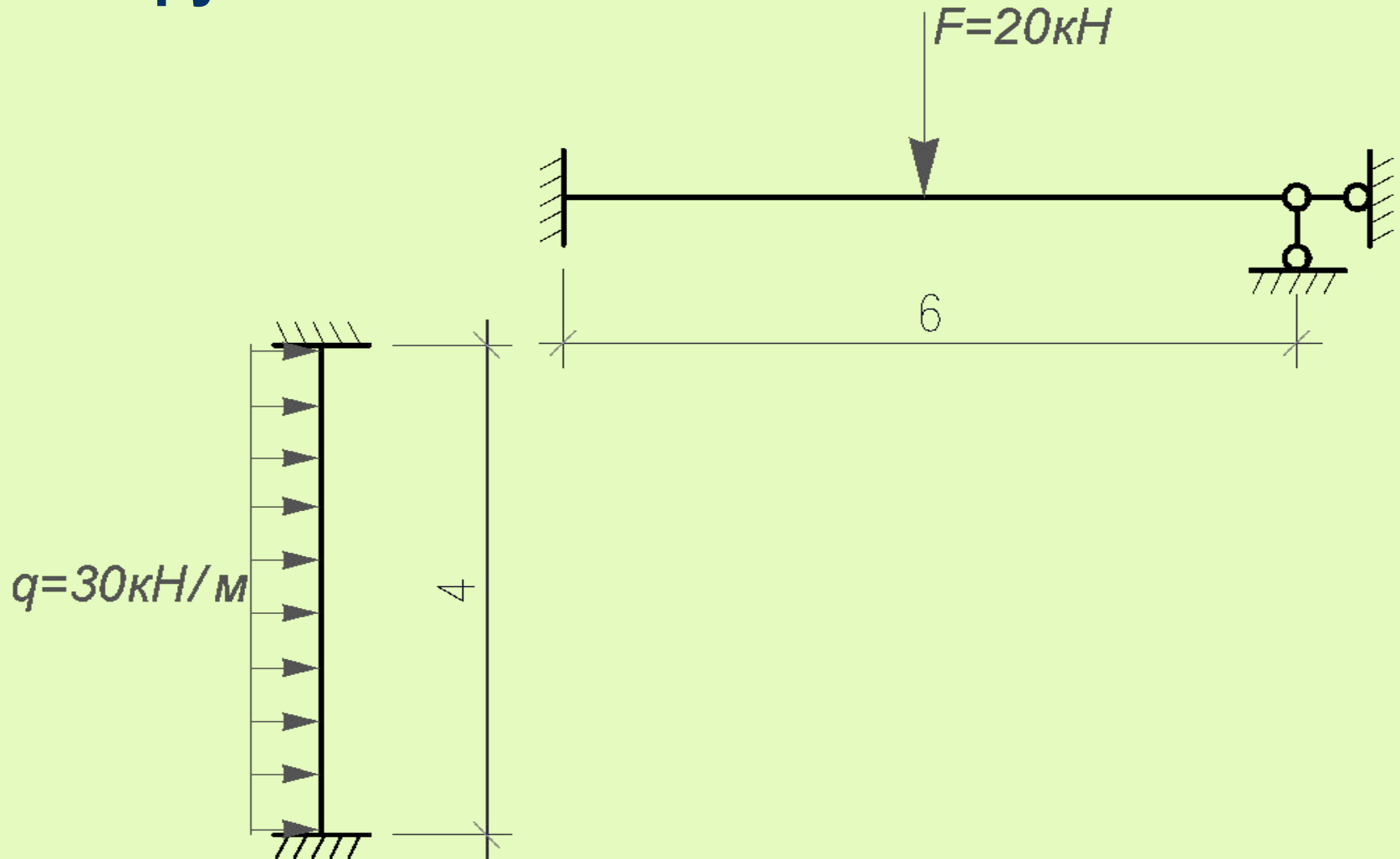
4. Определение перемещений от единичной нагрузки



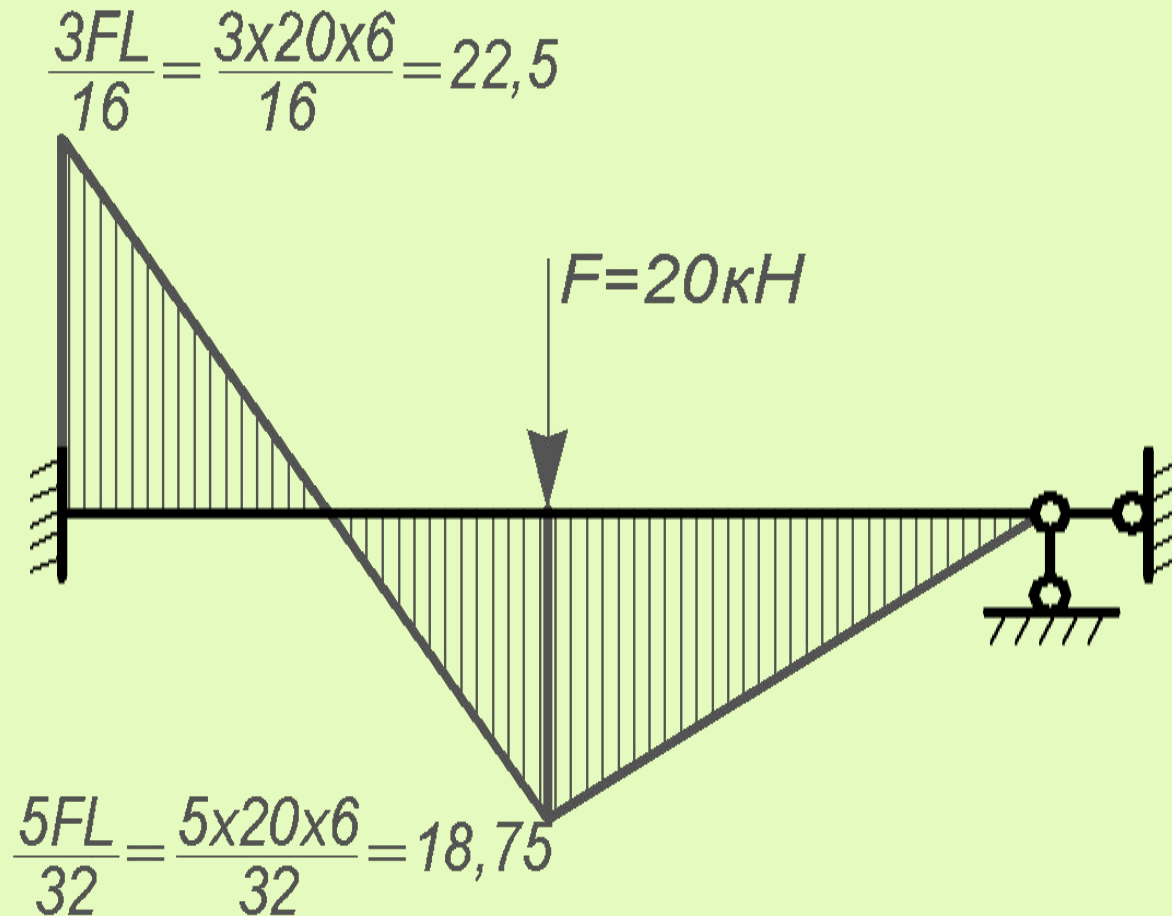
4. Определение перемещений от единичной нагрузки



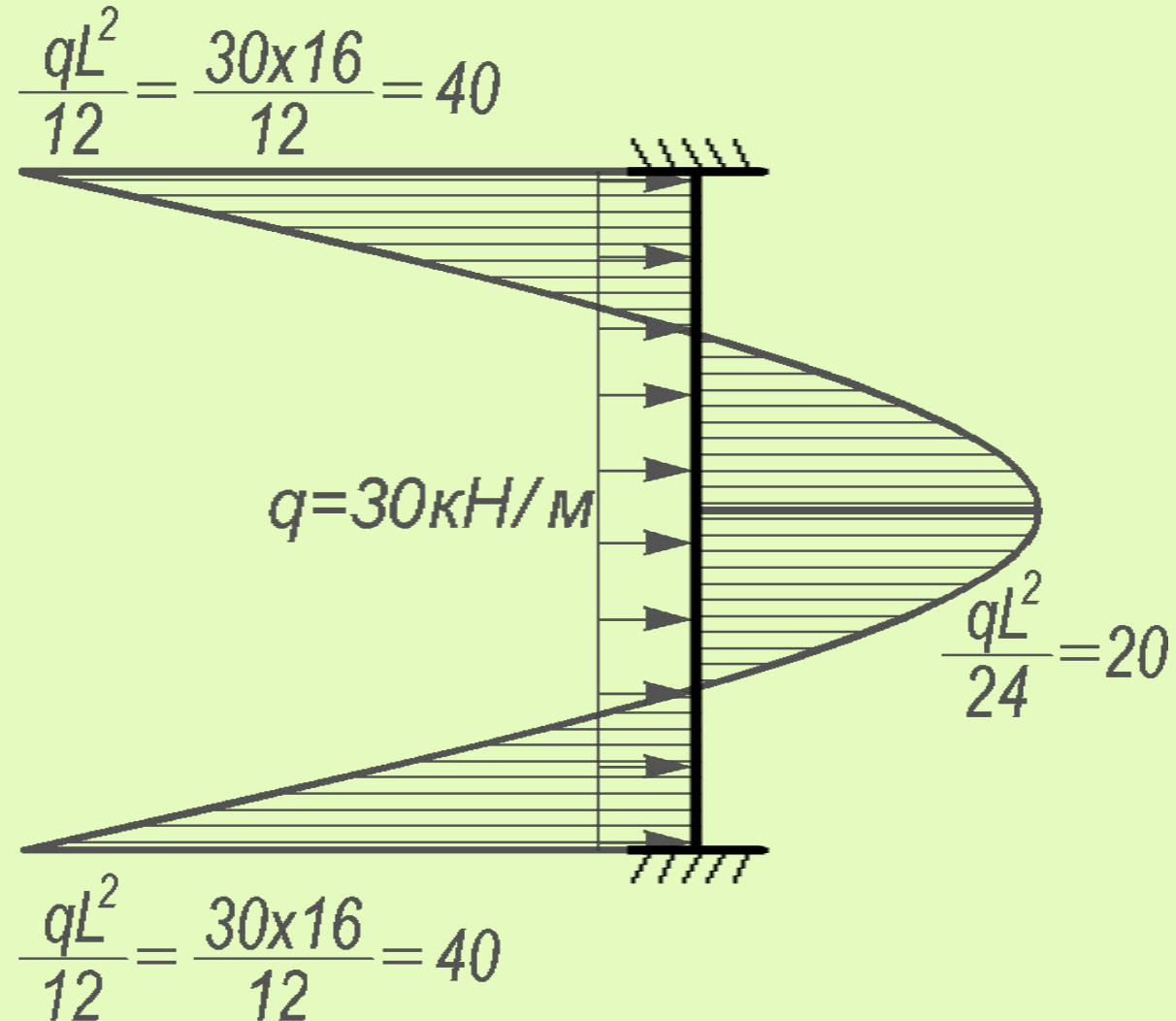
4. Определение перемещений от внешней нагрузки



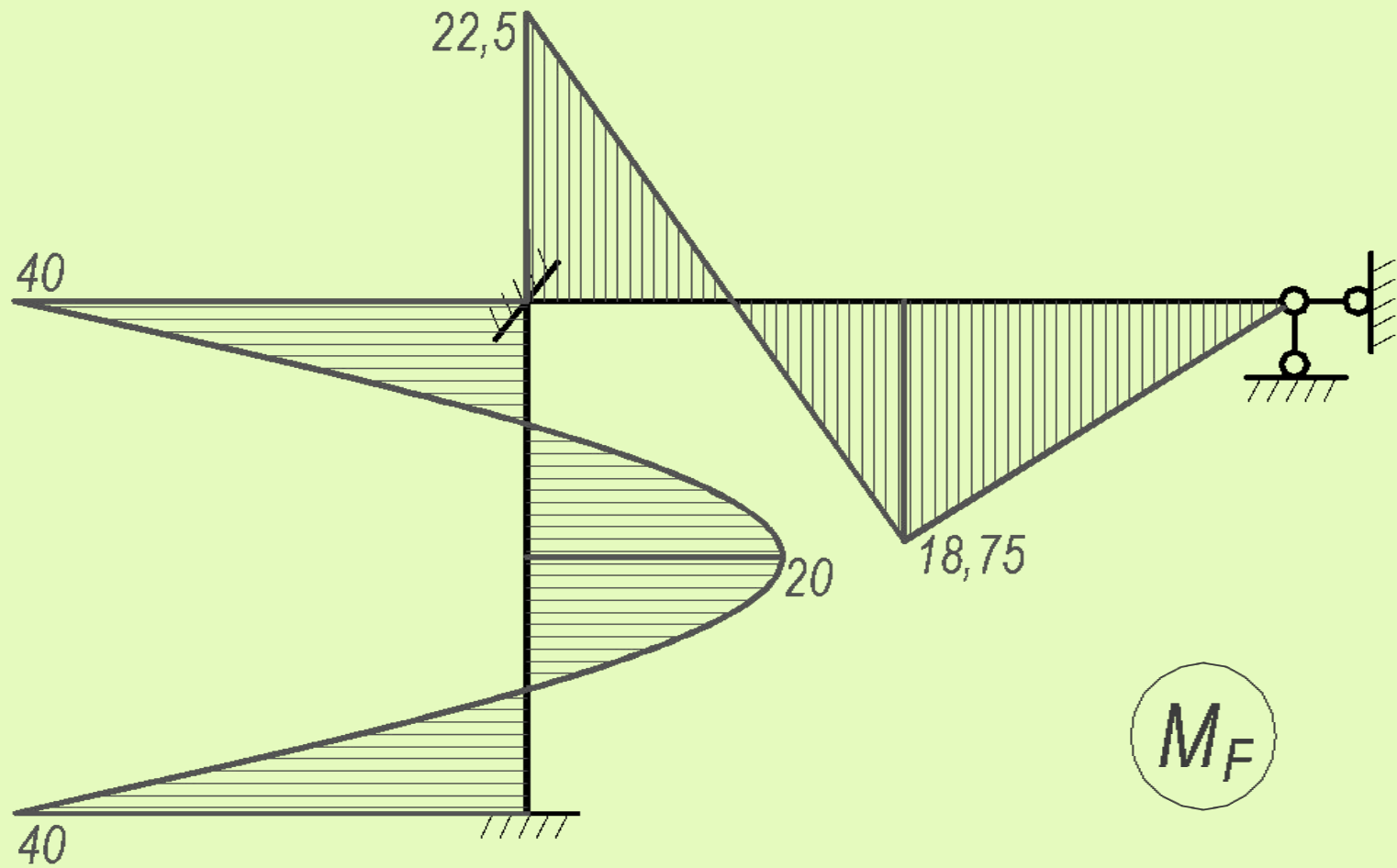
4. Определение перемещений от внешней нагрузки



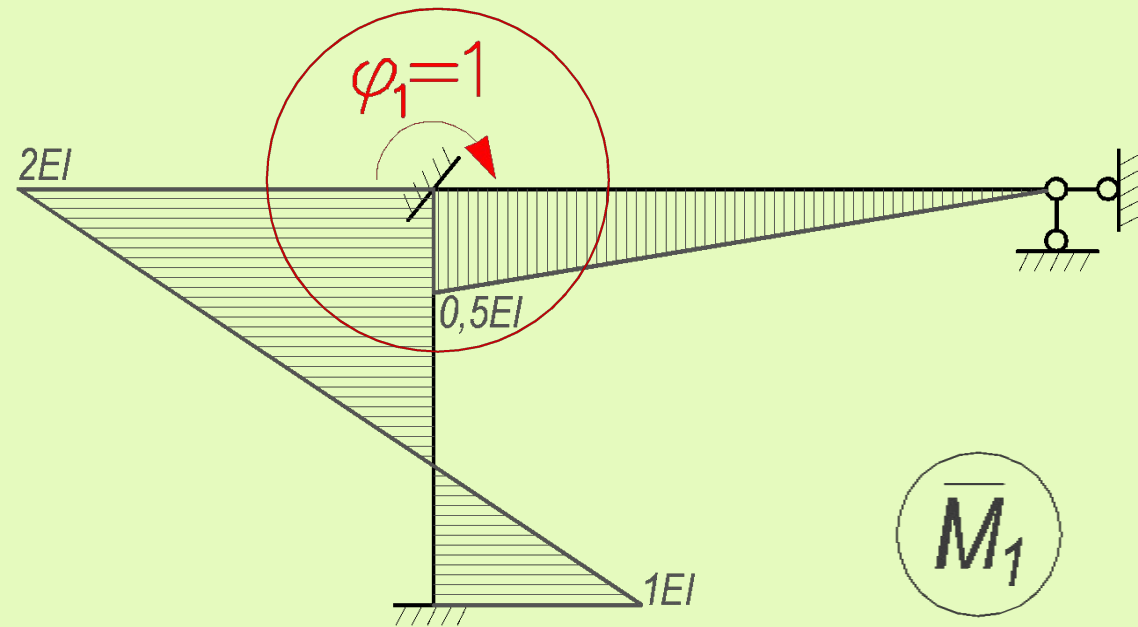
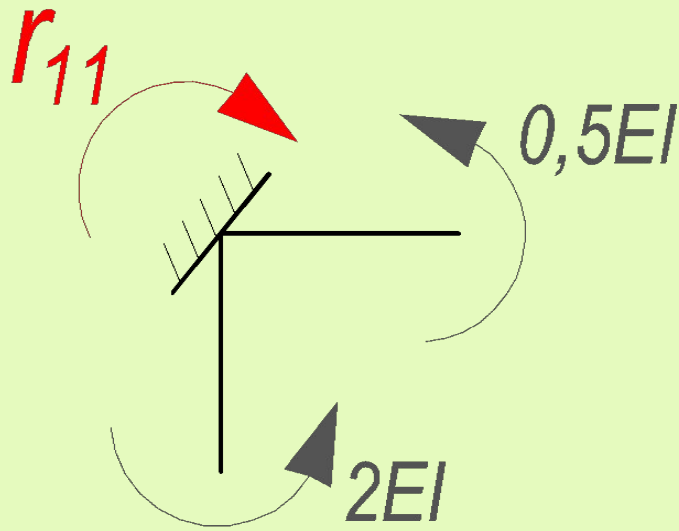
4. Определение перемещений от внешней нагрузки



4. Определение перемещений от внешней нагрузки



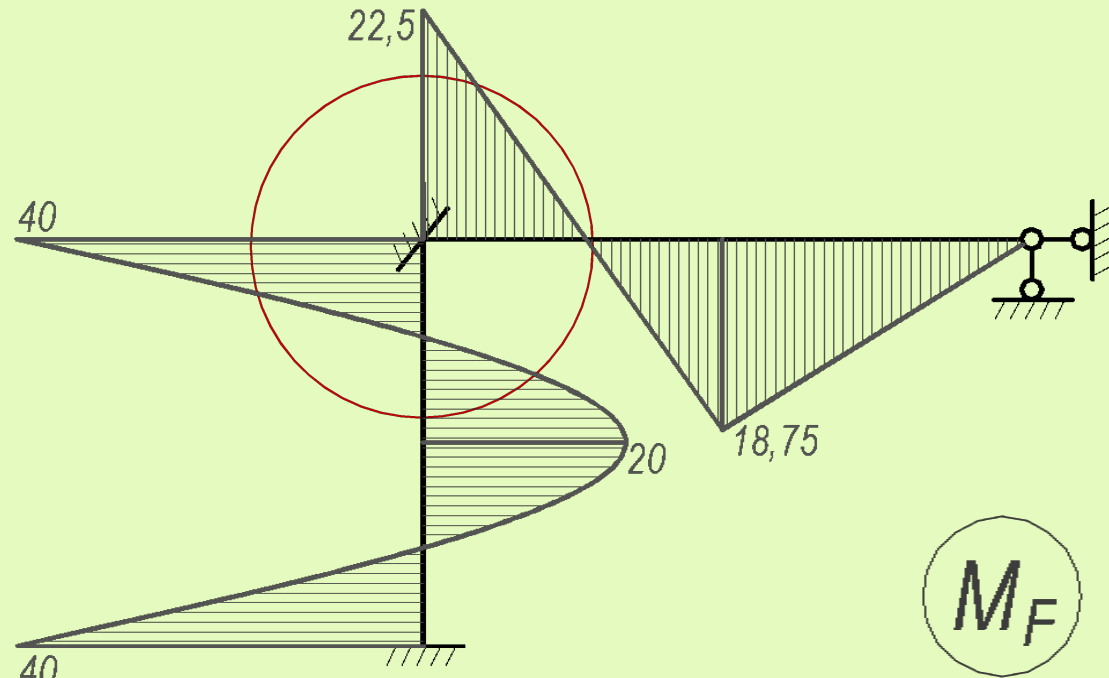
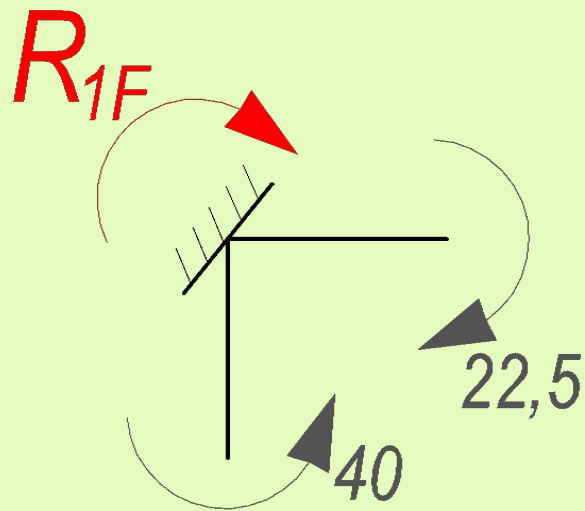
5. Подсчет коэффициентов канонических уравнений



$$\sum M = 0 : r_{11} - 2EI - 0,5EI = 0,$$

$$r_{11} = 2EI + 0,5EI = 2,5EI$$

5. Подсчет коэффициентов канонических уравнений



$$\sum M = 0 : R_{1F} - 40 + 22,5 = 0,$$

$$R_{1F} = 40 - 22,5 = 17,5$$

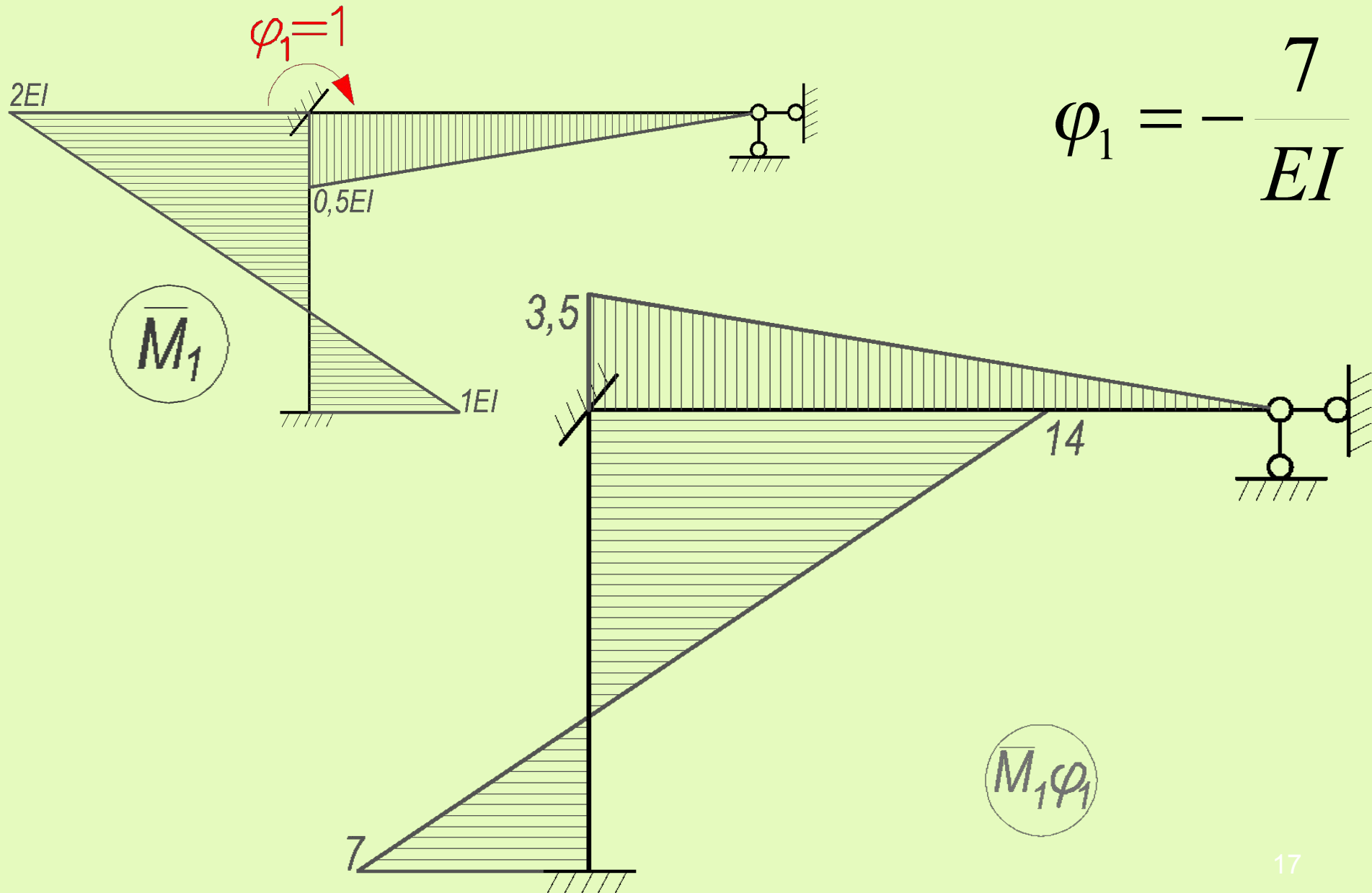
6. Решение канонических уравнений

$$r_{11} \cdot \varphi_1 + R_{1F} = 0$$

$$r_{11} \cdot \varphi_1 = -R_{1F} \rightarrow \varphi_1 = -\frac{R_{1F}}{r_{11}}$$

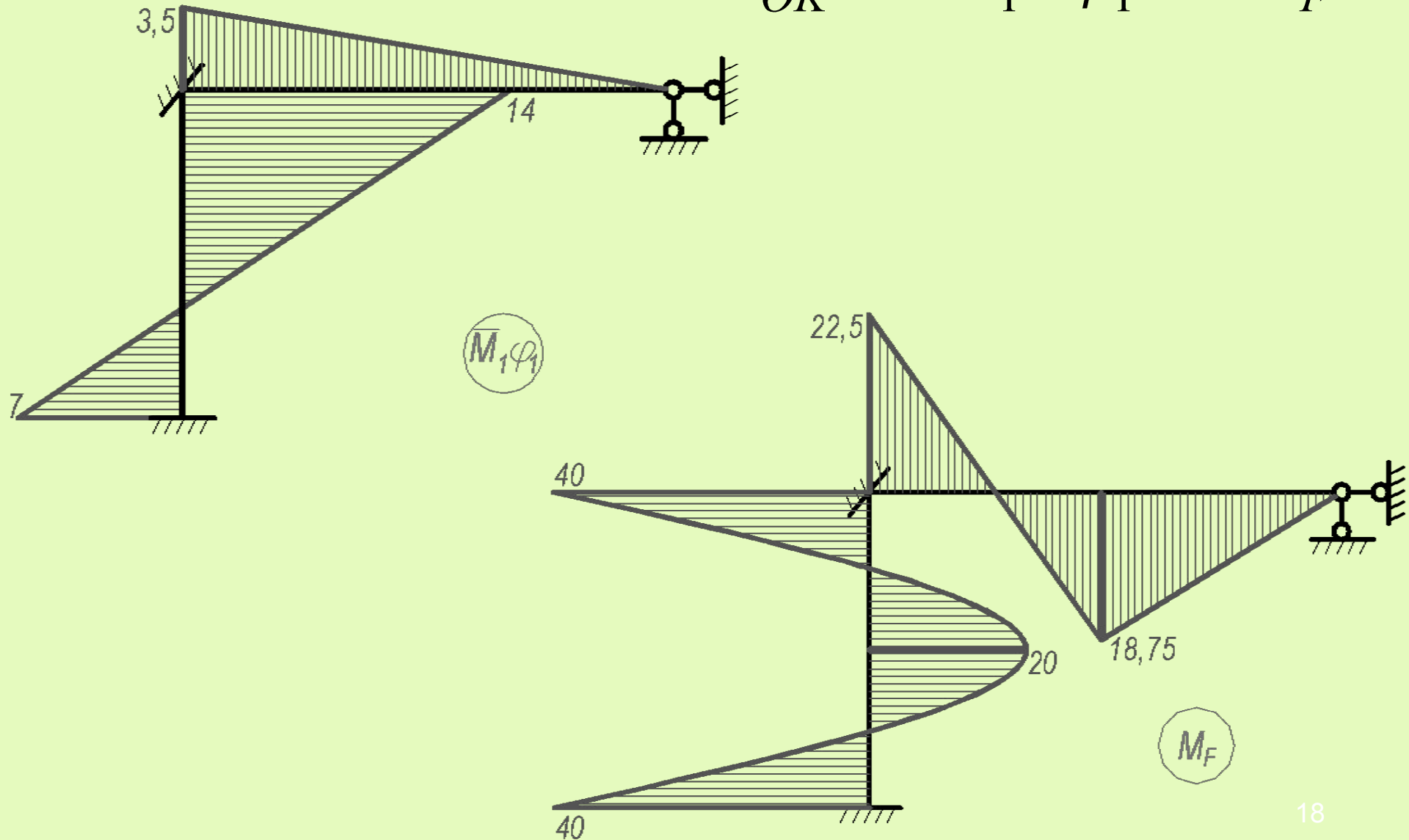
$$\varphi_1 = -\frac{17,5}{2,5EI} = -\frac{7}{EI}$$

7. Построение исправленной эпюры моментов



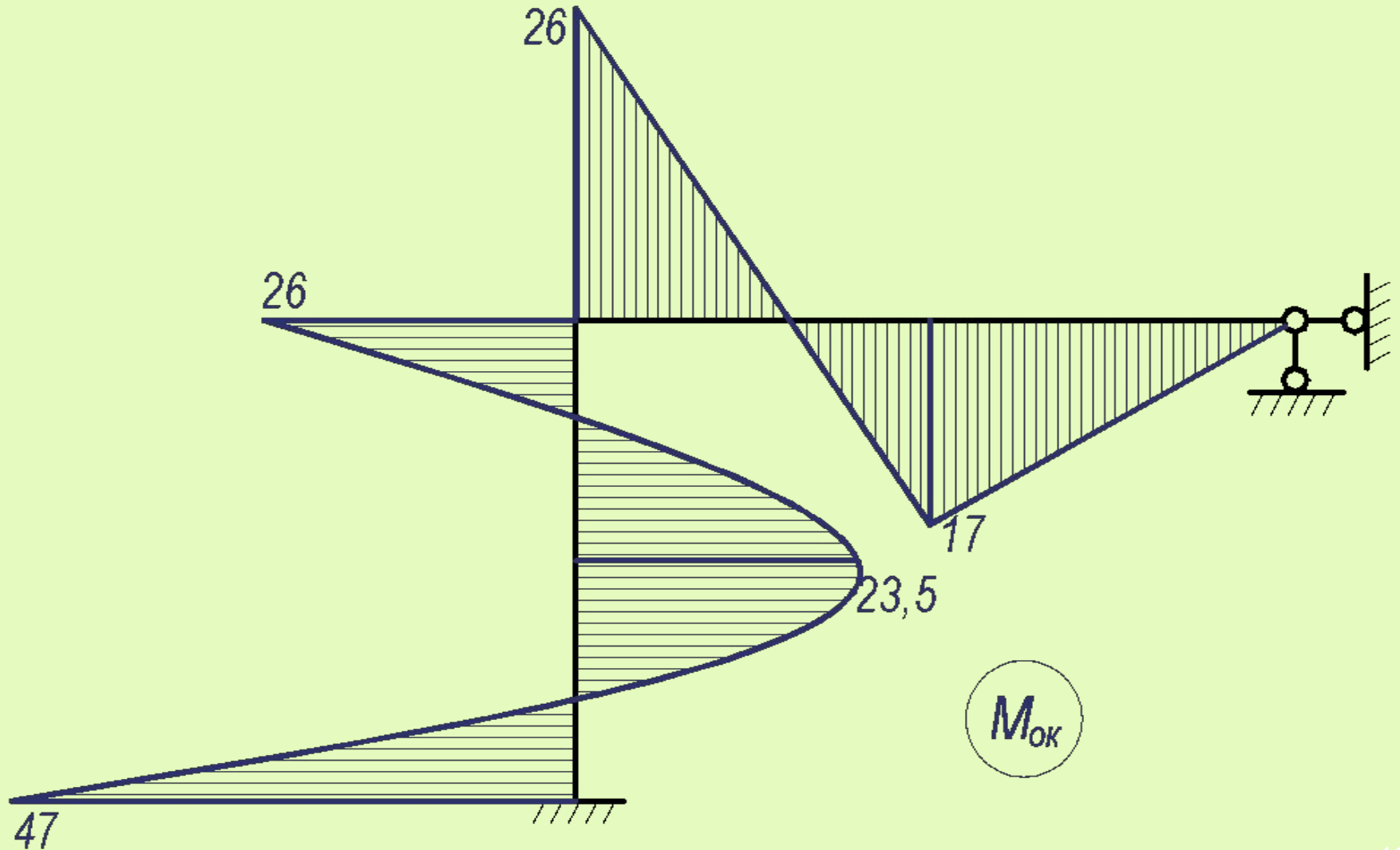
8. Построение окончательной эпюры моментов

$$M_{OK} = \overline{M}_1 \cdot \varphi_1 + M_F$$



8. Построение окончательной эпюры моментов

$$M_{OK} = \overline{M}_1 \cdot \varphi_1 + M_F$$



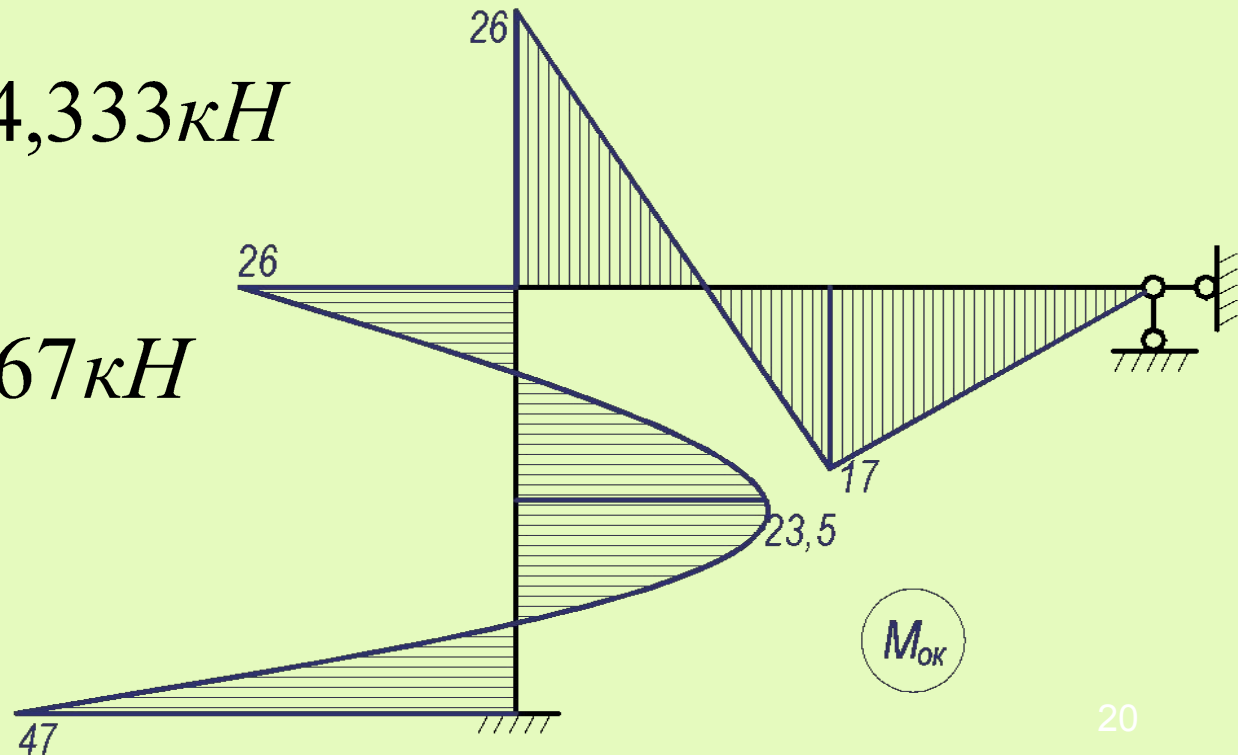
9. Построение эпюры поперечных усилий

$$Q = \frac{M_K - M_H}{l_{yc}} \pm \frac{q \cdot l_{yc}}{2}$$

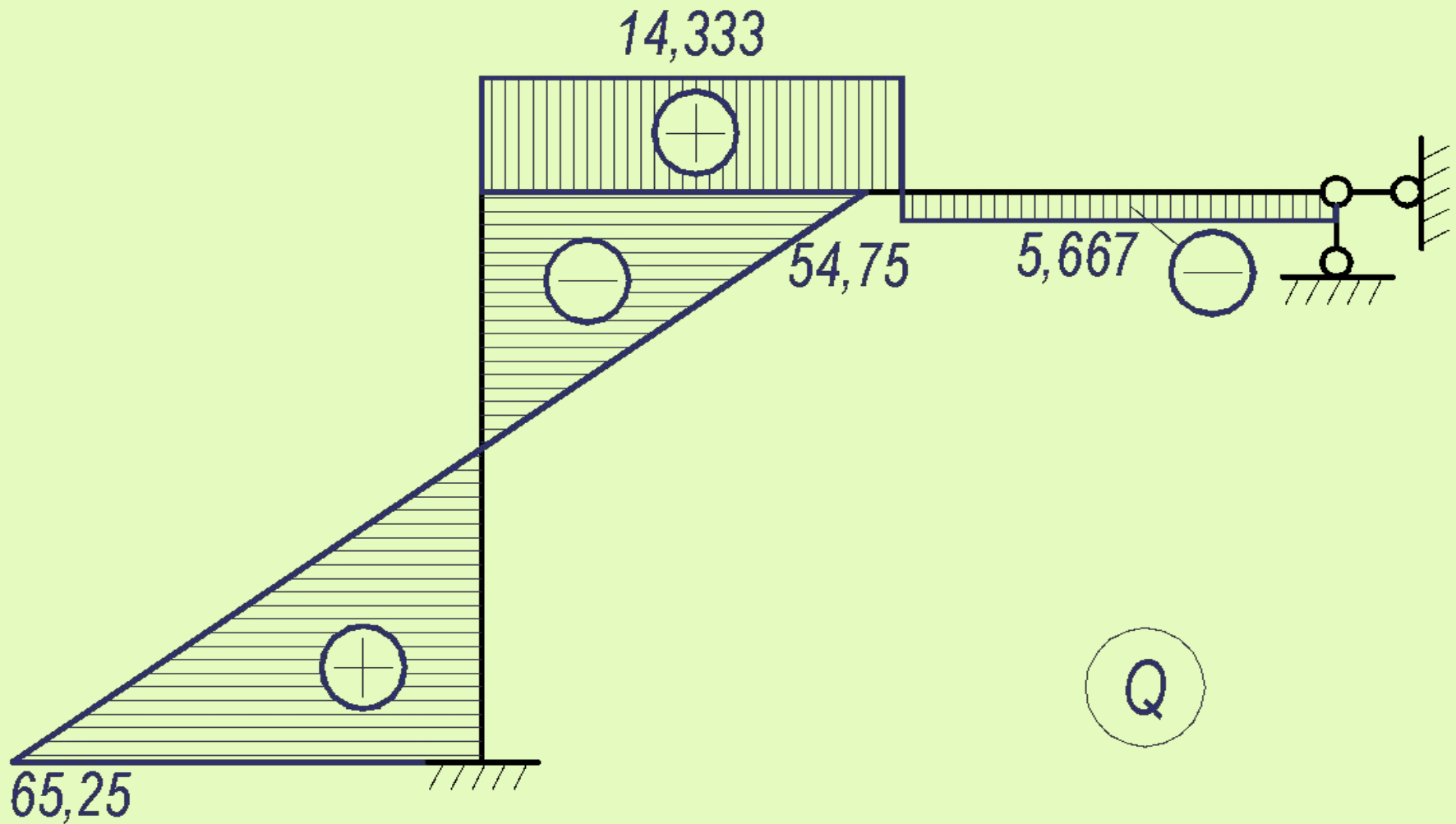
$$Q_1 = \frac{47 - 26}{4} \pm \frac{30 \cdot 4}{2} = 65,25 \text{ кН}$$
$$-54,75 \text{ кН}$$

$$Q_2 = \frac{26 + 17}{3} = 14,333 \text{ кН}$$

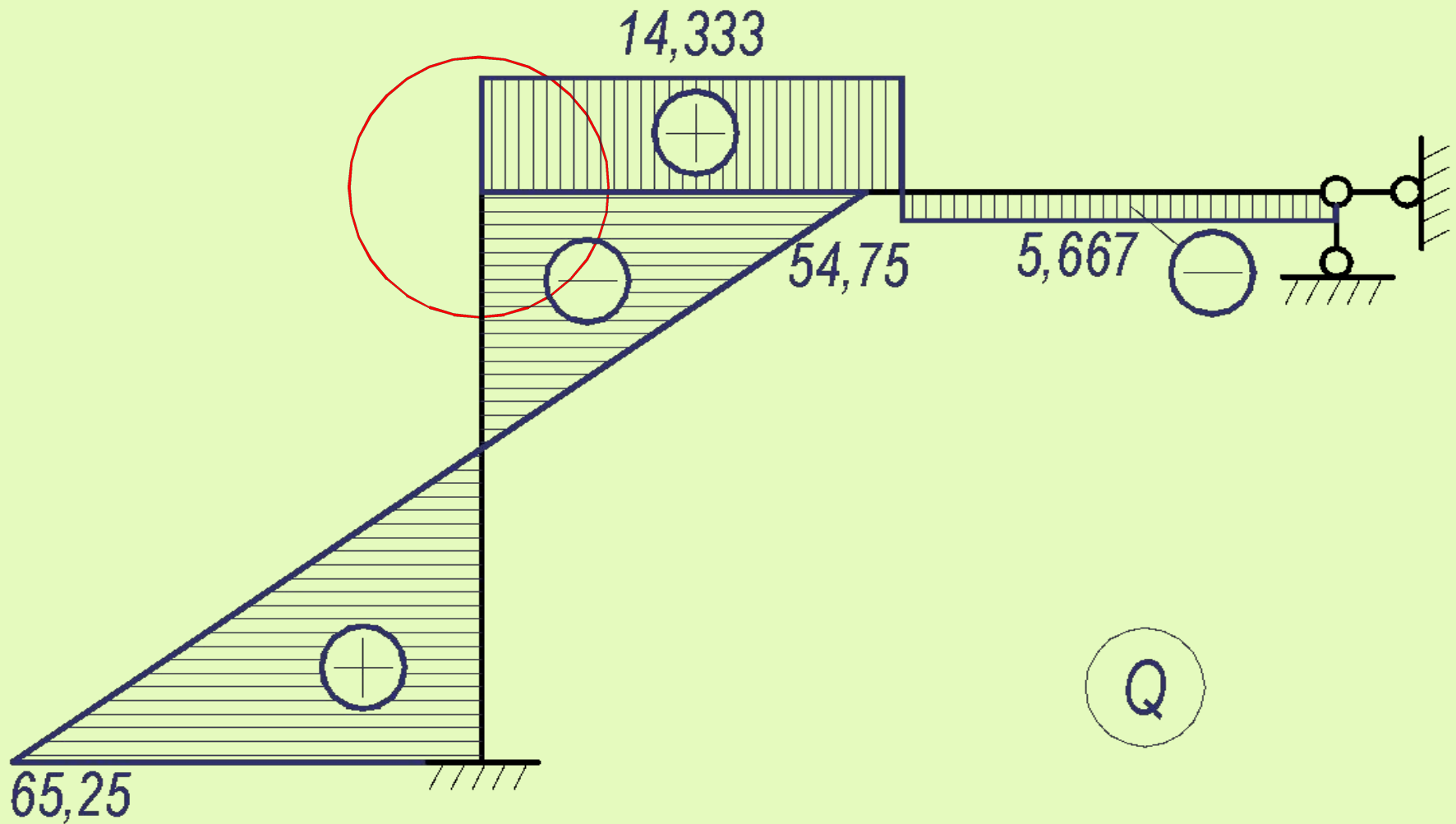
$$Q_3 = -\frac{17}{3} = -5,667 \text{ кН}$$



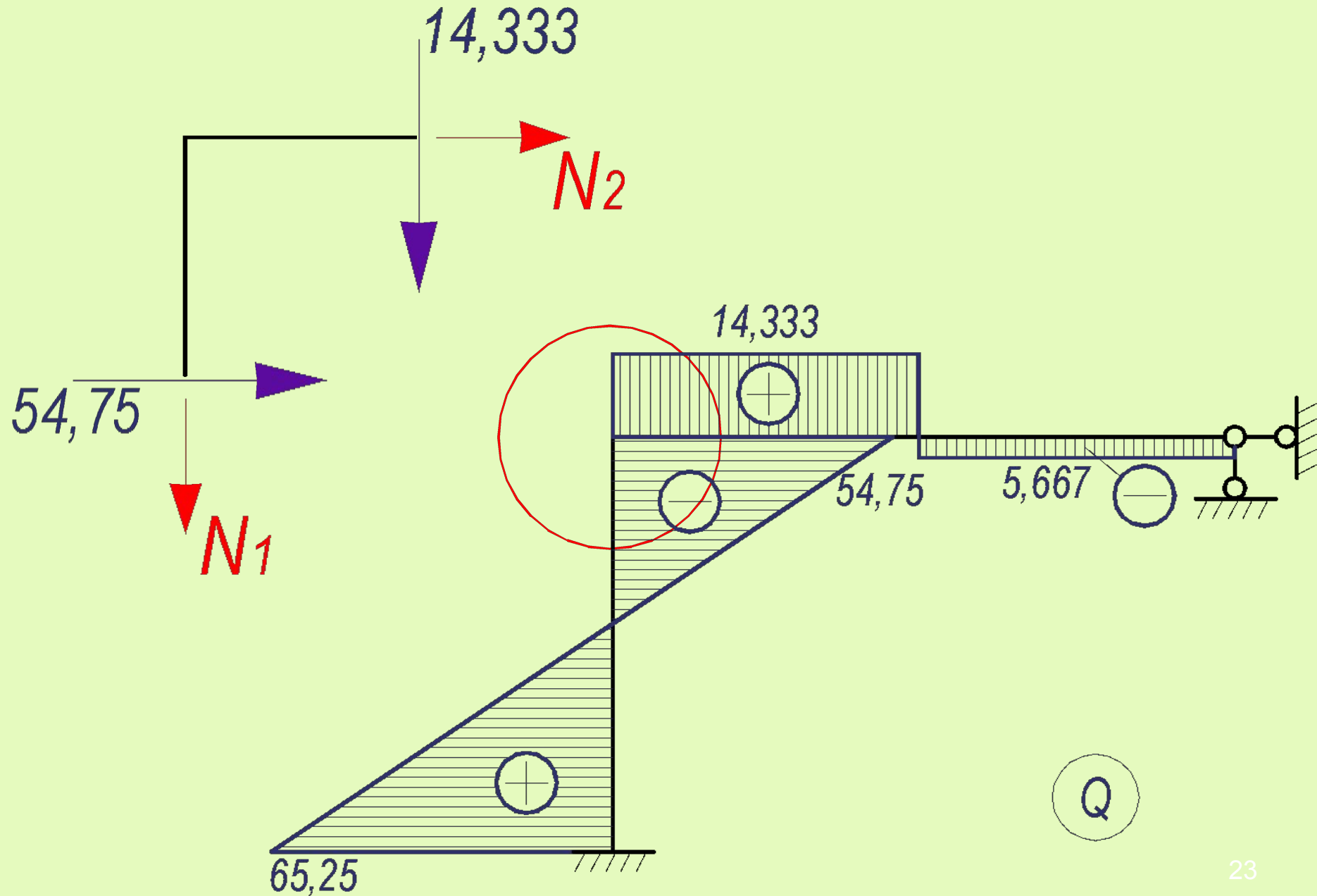
9. Построение эпюры поперечных усилий



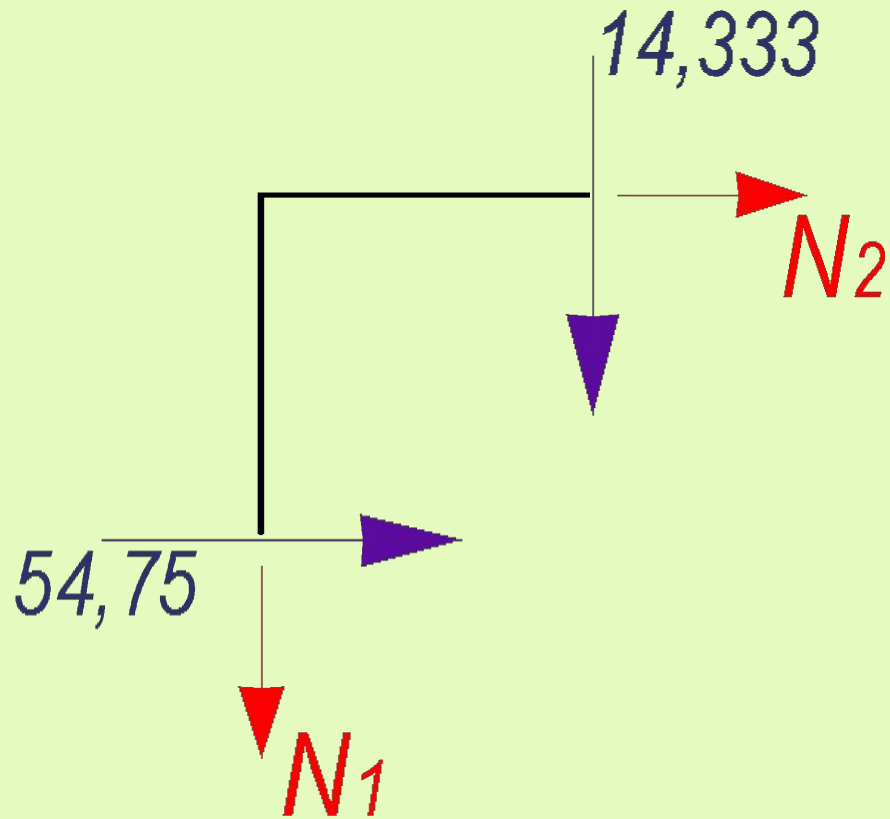
10. Построение эпюры продольных усилий



10. Построение эпюры продольных усилий



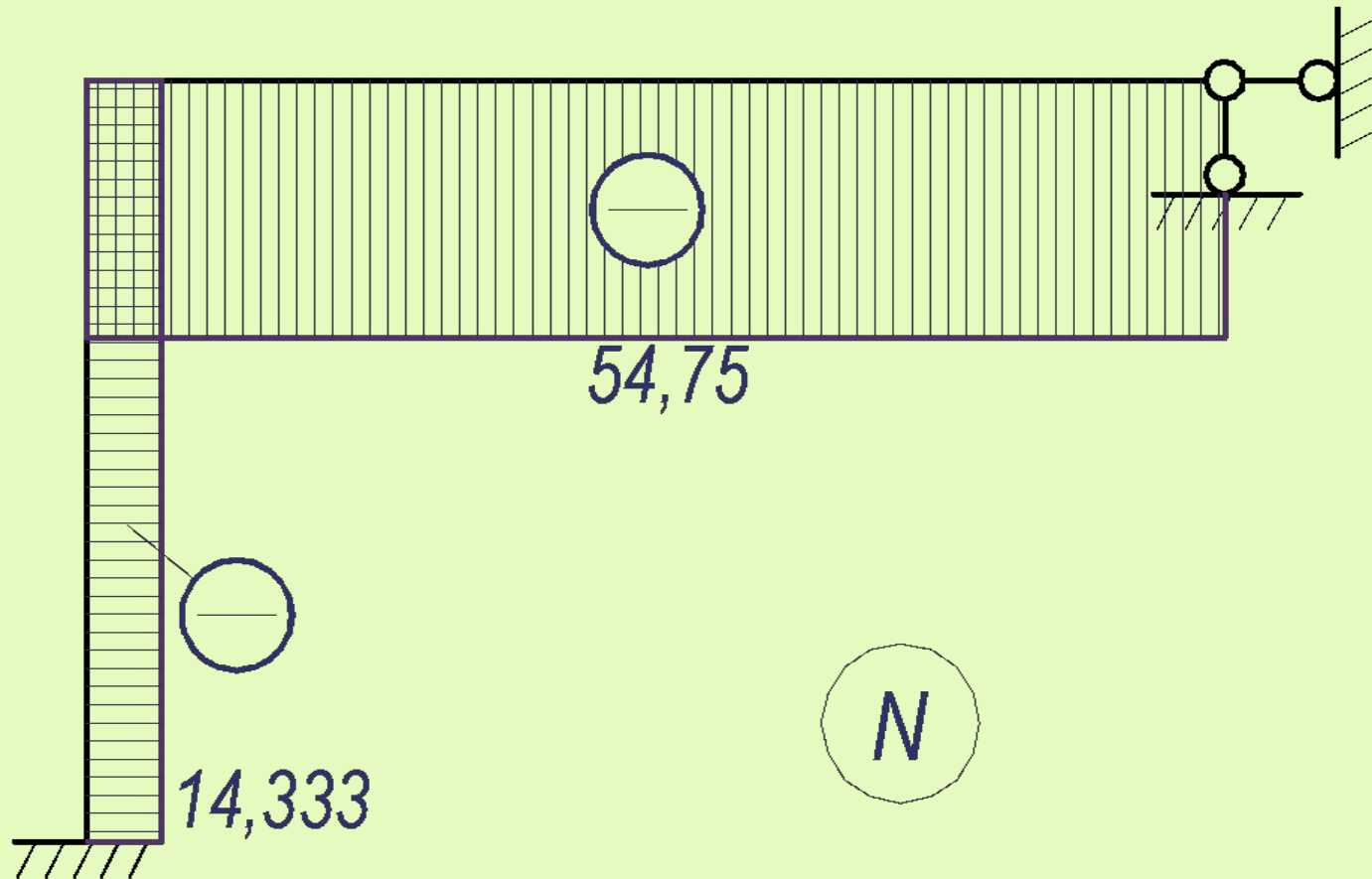
10. Построение эпюры продольных усилий



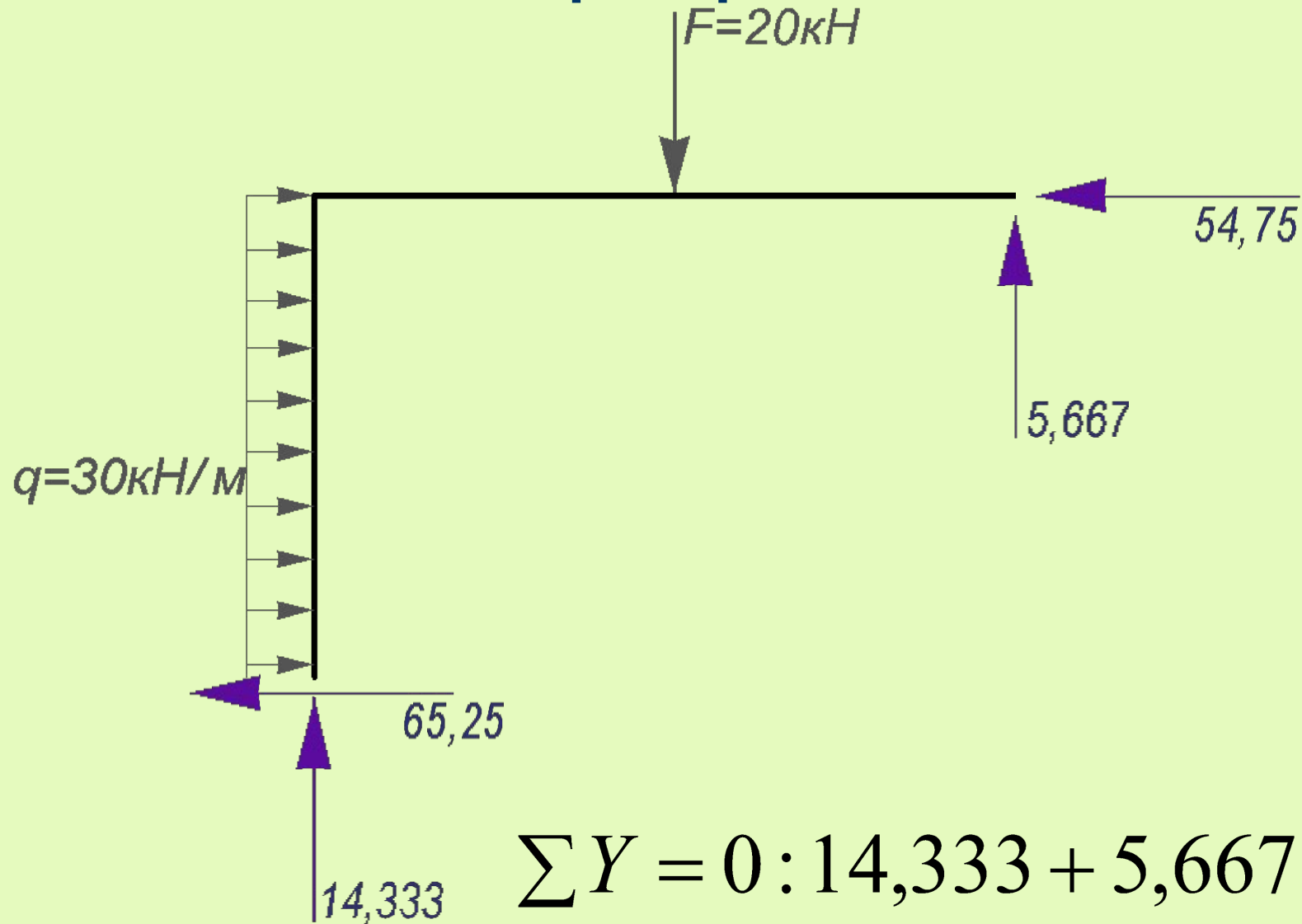
$$\sum Y = 0, -N_1 - 14,333 = 0 \rightarrow N_1 = -14,333 \text{ кН}$$

$$\sum X = 0, N_2 + 54,75 = 0 \rightarrow N_2 = -54,75 \text{ кН}$$

10. Построение эпюры продольных усилий



11. Статическая проверка



$$\sum Y = 0 : 14,333 + 5,667 - F = 0$$

$$\sum X = 0 : q \cdot 4 - 65,25 - 54,75 = 0$$