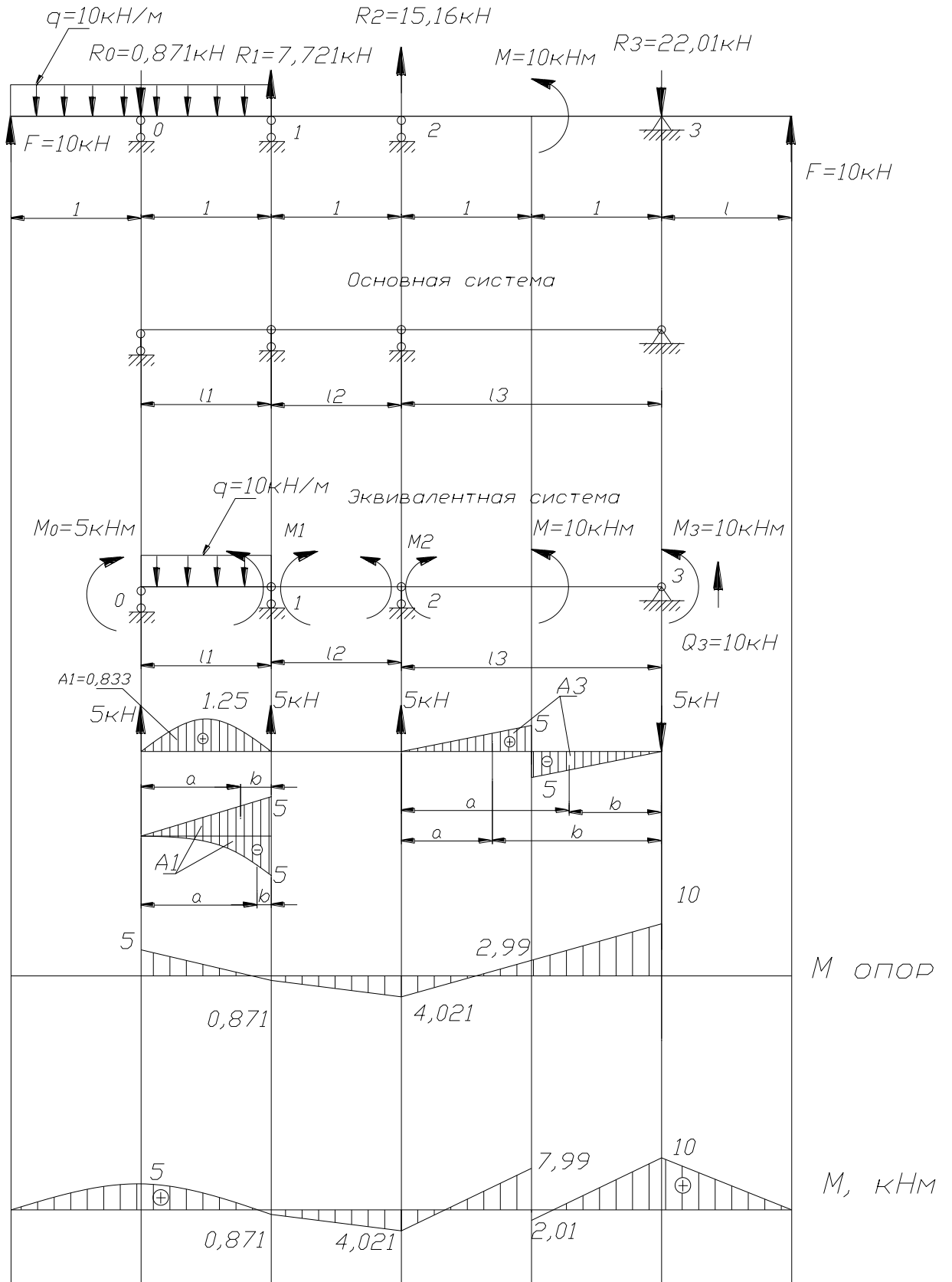


$q=10\text{кН/м}$, $F=10\text{кН}$, $l=1\text{ м}$, $M=10\text{кНм}$



Определяем степень статической неопределимости балки:

$$n_{ст} = C_{оп} - 3 = 5 - 3 = 2$$

Таким образом, балка дважды статически неопределима. Необходимо отбросить две лишние связи и составить два уравнения (уравнения 3-х моментов).

Выбираем основную систему и строим эквивалентную. На основной системе отбрасываем внешнюю нагрузку, врезаем шарниры в опорные сечения, отбрасываем консольный участок. На эквивалентной системе показываем внешнюю нагрузку, реакции отброшенных связей (опорные моменты M_1 и M_2) и действие консольного участка в виде известного момента M_3 и поперечной силы Q_3 .

Составляем уравнения трех моментов.

Исходя из выбранной основной системы видно, что неизвестными усилиями являются моменты M_1 и M_2 .

Момент M_0 определяется как момент от консольного участка на балку (аналогично определяется и M_3), т.е.

$$M_0 = 5 \text{ кНм}, Q_0 = 0$$

$$M_3 = 10 \text{ кНм}, Q_3 = 10 \text{ кН}$$

$$M_0 \cdot l_1 + 2 M_1 \cdot (l_1 + l_2) + M_2 \cdot l_2 = -6 A_1 \cdot a_1 / l_1 - 6 A_2 \cdot b_2 / l_2$$

$$M_1 \cdot l_2 + 2 M_2 \cdot (l_2 + l_3) + M_3 \cdot l_3 = -6 A_2 \cdot a_2 / l_2 - 6 A_3 \cdot b_3 / l_3$$

A_i - площади эпюр на соответствующих участках

a_i - расстояние от левой опоры до центра тяжести грузовой эпюры моментов

b_i - расстояние от правой опоры до центра тяжести грузовой эпюры моментов

$$\frac{A_1 \cdot a_1}{l_1} = \frac{5 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,667 \cdot 1 - 1/3 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 3/4}{1} = 0,4175 \text{ кНм}^2$$

$$A_2 = 0$$

$$\frac{A_3 \cdot b_3}{l_3} = \frac{5 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1,333 \cdot 1 - 5 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,667 \cdot 1}{2} = 0,8325 \text{ кНм}^2$$

$$\begin{cases} 5 \cdot 1 + 2M_1 \cdot 2 + M_2 \cdot 1 = -6 \cdot 0,4175 \\ M_1 + 2M_2 \cdot 3 + 10 \cdot 2 = -6 \cdot 0,8325 \end{cases}$$

Решаем систему уравнений и находим неизвестные моменты:

$$4M_1 + M_2 = -7,505$$

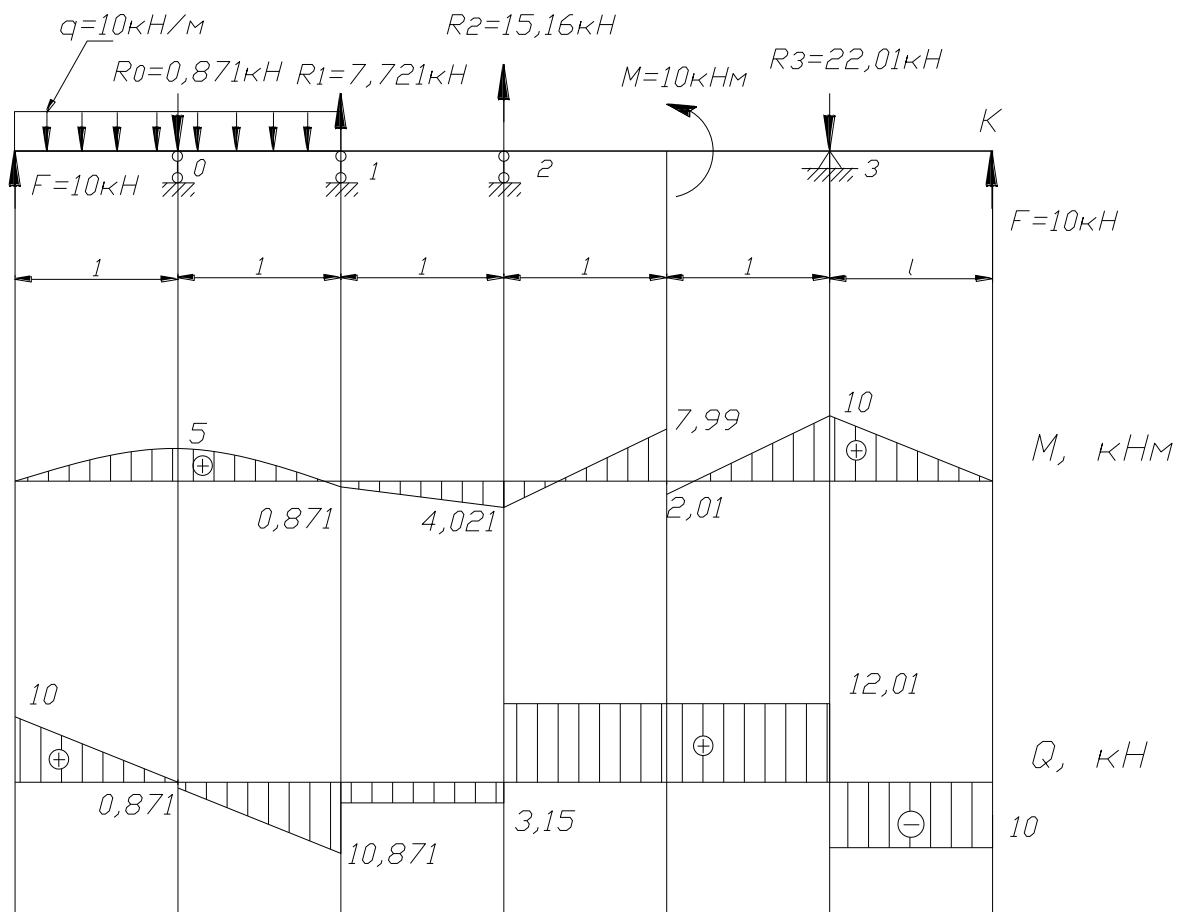
$$M_1 + 6M_2 = -24,995$$

$$M_1 = -0,871 \text{ кНм}, \quad M_2 = -4,021 \text{ кНм}$$

На основании полученных моментов строим эпюру опор M_{on}

Для получения окончательной эпюры изгибающих моментов M (кНм) суммируем полученные эпюры по соответствующим участкам.

Определяем поперечные силы в сечениях балки по формуле



$$Q = Q^B + \frac{M_{\text{прав.}} - M_{\text{лев.}}}{l_i}$$

Пролет	Сечение	Q^B	$M_{\text{пр.}}$	$M_{\text{лев.}}$	$\frac{M_{\text{прав.}} - M_{\text{лев.}}}{l_i}$	$Q, \text{кН}$
1	0	5	-0,871	5	-5,871	-0,871
	1	-5	-0,871	5	-5,871	-10,871
2	1	0	-4,021	-0,871	-3,15	-3,15
	2	0	-4,021	-0,871	-3,15	-3,15
3	2	5	10	-4,021	7,0105	12,01
	3	5	10	-4,021	7,0105	12,01

Определяем опорные реакции:

$$R_0 = Q_0 = -0,871 \text{ кН}$$

$$R_1 = Q_1^{(\text{прав})} - Q_1^{(\text{лев})} = -3,15 + 10,871 = 7,721 \text{ кН}$$

$$R_2 = Q_2^{(\text{прав})} - Q_2^{(\text{лев})} = 12,01 + 3,15 = 15,16 \text{ кН}$$

$$R_3 = -Q_3 - Q_2^{(\text{лев})} = -10 - 12,01 = -22,01 \text{ кН}$$

Знак минус говорит о том, что реакции направлены вниз.

Проверка статического равновесия балки в целом:

$$\Sigma Y_i = -R_0 + F + F - q \cdot 2 + R_1 - R_2 - R_3 = -0,871 + 10 + 10 - 20 + 7,721 + 15,16 - 22,01 = 0$$

$$\Sigma M_K = 0;$$

$$\Sigma M_K = F \cdot 6 - R_0 \cdot 5 + R_1 \cdot 4 - M - q \cdot 2 \cdot 5 + R_2 \cdot 3 - R_3 \cdot 1 = 10 \cdot 6 - 0,871 \cdot 5 + 7,721 \cdot 4 - 10 - 10 \cdot 10 + 15,16 \cdot 3 - 22,01 \cdot 1 = 0$$

$$|M_{\text{max}}| = 10 \text{ кНм}$$

квадратное сечение $b = 40 \text{ мм} = 4 \text{ см}$

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{b(b)^2}{6} = \frac{b^3}{6} = \frac{4^3}{6} = 10,667 \text{ см}^3 \text{ - момент сопротивления}$$

напряжение в опасном сечении балки:

$$\sigma = \frac{|M_{\text{max}}|}{W_x} = \frac{10 \cdot 10^3}{10,667 \cdot 10^{-6}} = 937,47 \text{ МПа}$$