

Выпускная квалификационная работа

на тему:

«Расчет стержневых систем на
устойчивость и колебания»

Выполнил: ст. гр. 4-33

Бирюченко Т.А.

Руководитель: к.т.н.

Крайнова Л.Н.

Цель: расчет рамной конструкции эстакады технологического трубопровода на устойчивость и колебания.

Задачи:

- Аналитический и численный расчет стержня на устойчивость
- Экспериментальное определение устойчивости стержня
- Численный расчет критической нагрузки при потере устойчивости рамной конструкции
- Аналитический расчет собственных частот рамной конструкции
- Численный расчет собственных частот и форм колебаний рамной конструкции
- Отстройки от резонанса

Постановка задачи

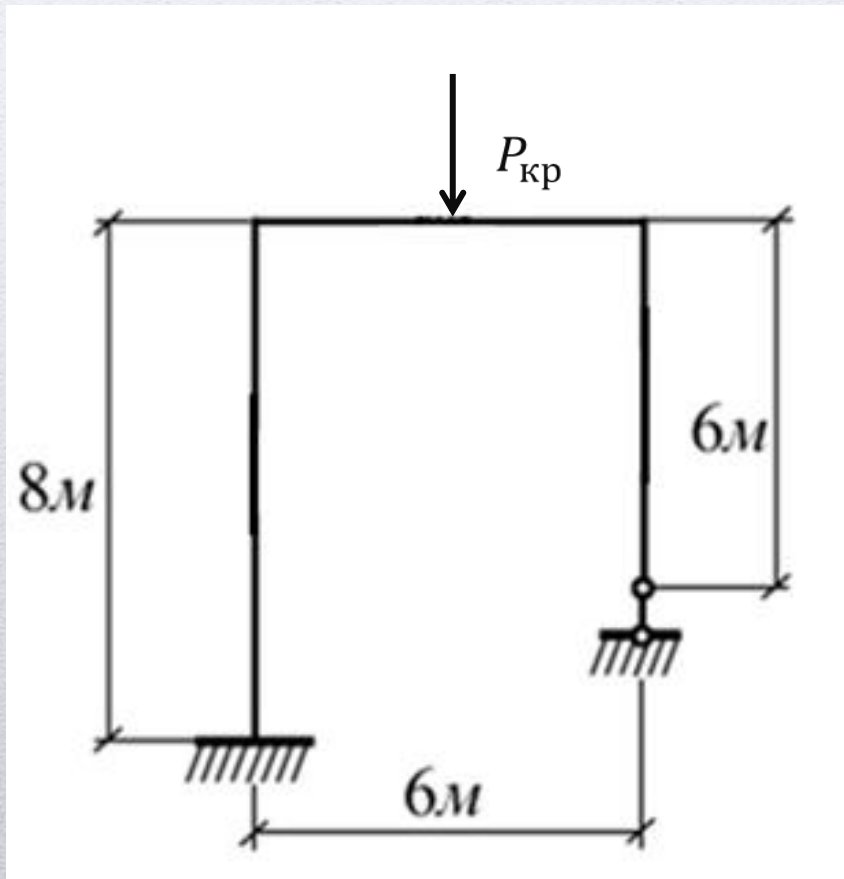


Рис.1. Расчетная схема.

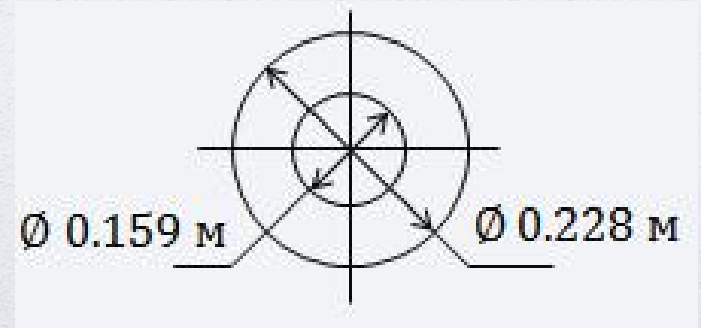


Рис.2. Сечение вертикальных стержней.

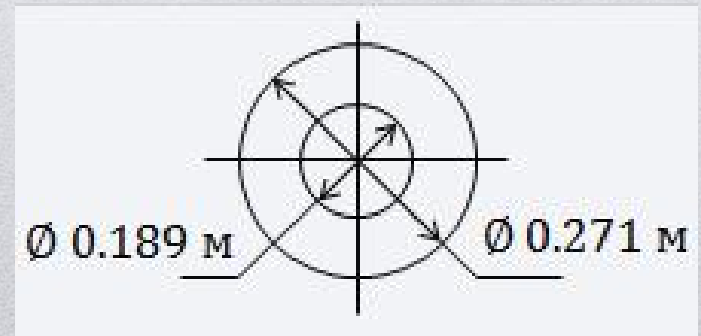


Рис.3. Сечение горизонтального стержня.

Определение прочностных характеристик экспериментального образца

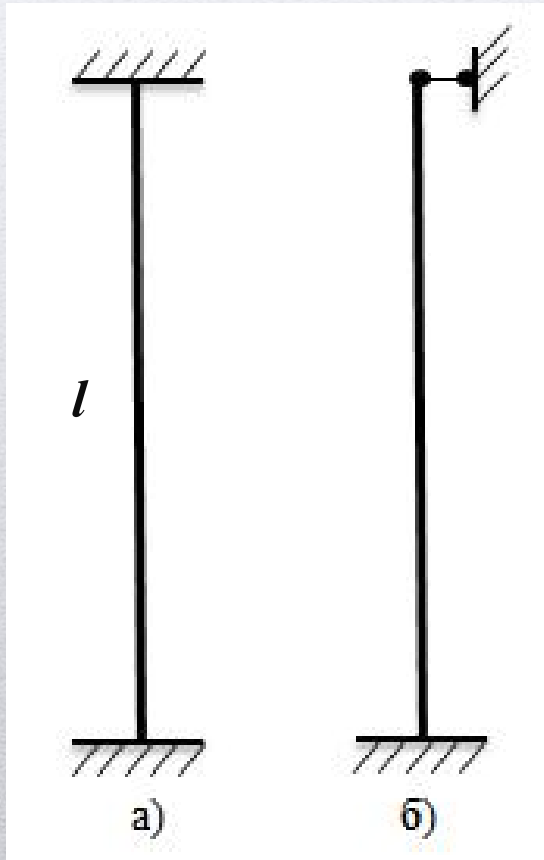


Рис.4. Расчетная схема
стержня.

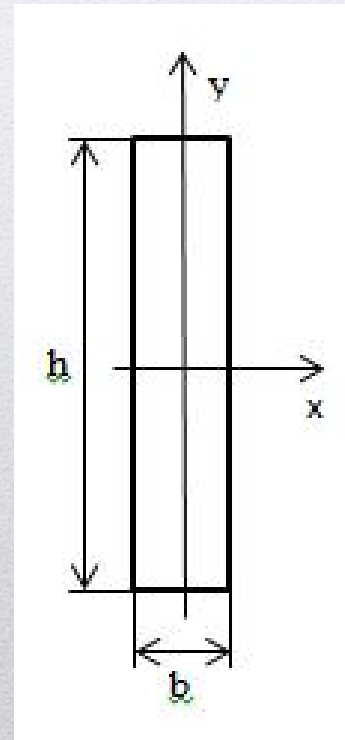


Рис.5. Сечение
стержня.

$h=30$ мм
 $b=1.5$ мм
 $l=500$ мм

Результаты испытания



а)

б)

$P_T, \text{Н}$	$P_B, \text{Н}$	$\Delta l, \text{мм}$
6700	11700	54

$$\delta = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100\% = \frac{54}{150} \cdot 100\% = 36\%$$

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{P_T}{A} = \frac{6700}{30 \cdot 1.5} = 148.889 \text{ МПа}$$

$$\sigma_B = \frac{P_B}{A} = \frac{11700}{30 \cdot 1.5} = 260 \text{ МПа}$$

Рис.6. Образец: а) до испытания; б) после испытания.

Аналитический расчет стержня

Определим критическую силу рассматриваемого стержня.

Для условий «заделка- заделка» :

$$J = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{30 \cdot 1.5^3}{12} = 8.438 \text{ мм}^4$$

$$F_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{(\mu \cdot l)^2} = \frac{3.14^2 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 8.438}{(0.5 \cdot 500)^2} = 266.2 \text{ Н}$$

Для условий «заделка- шарнир»:

$$F_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{(\mu \cdot l)^2} = \frac{3.14^2 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 8.438}{(0.7 \cdot 500)^2} = 135.8 \text{ Н}$$

Численный расчет и результаты эксперимента

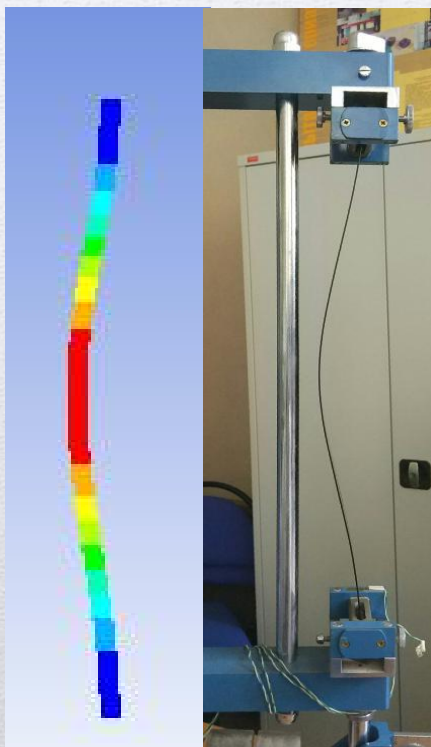


Рис.7. Первая форма потери устойчивости для условий «заделка-заделка»

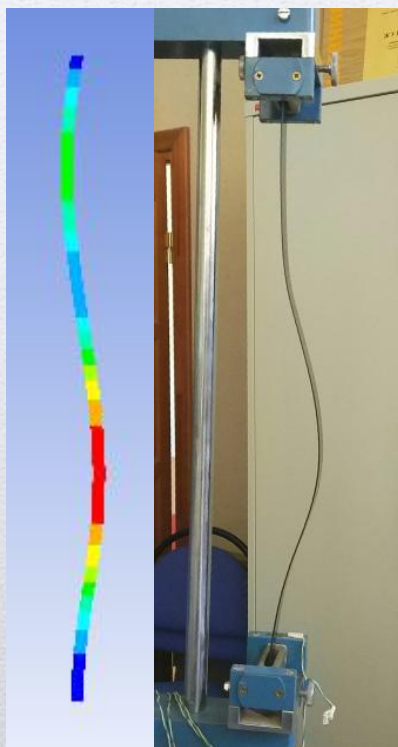


Рис.8. Вторая форма потери устойчивости для условий «заделка-заделка»

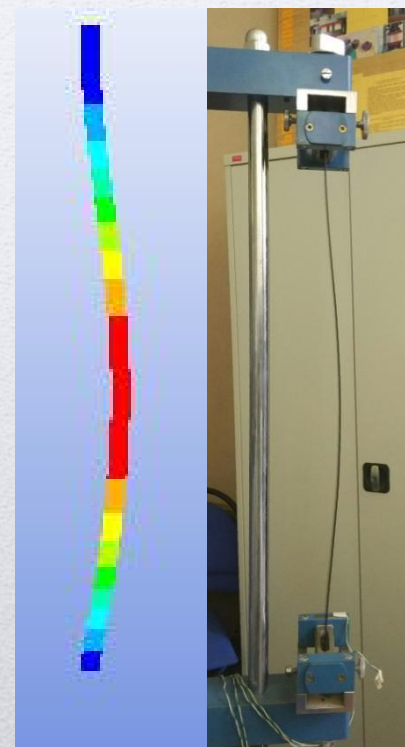


Рис.9. Первая форма потери устойчивости для условий «заделка-шарнир»

266.46 Н	402.8 Н	136.28 Н
200 Н	400 Н	130 Н

Расчет на устойчивость рамы эстакады технологического трубопровода

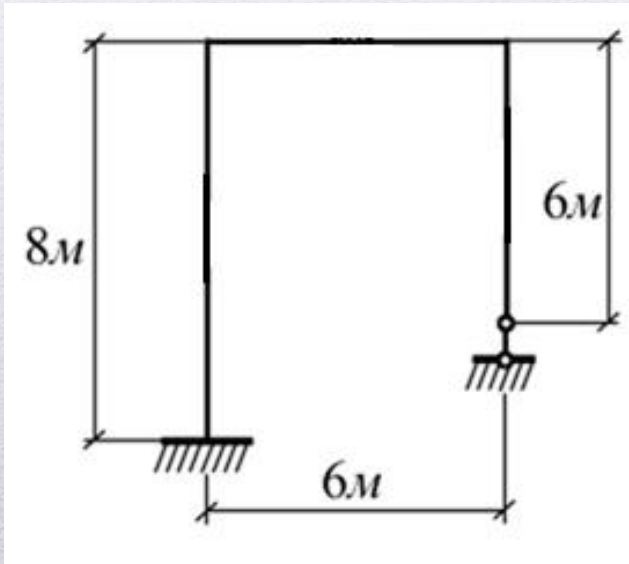


Рис.10. Расчетная схема.

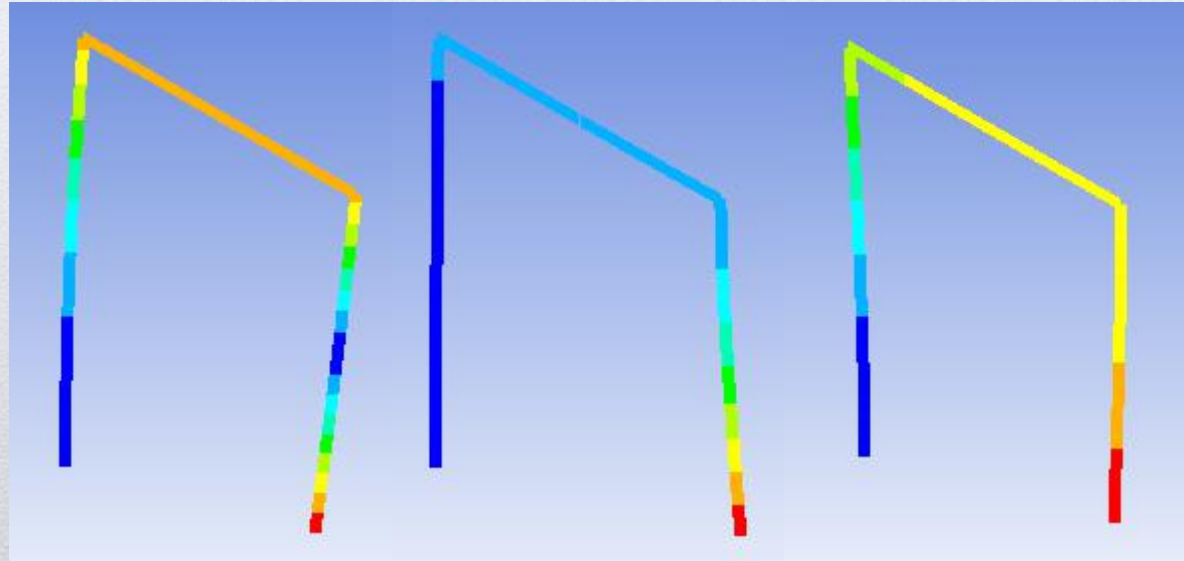


Рис.11. Формы потери устойчивости.

Tabular Data

	Mode	<input checked="" type="checkbox"/> Load Multiplier
1	1,	6,7381e+006
2	2,	3,3623e+007
3	3,	4,8754e+007

Рис.12. Критические силы для расчетной схемы.

Расчет собственных частот рамной конструкции эстакады технологического трубопровода.

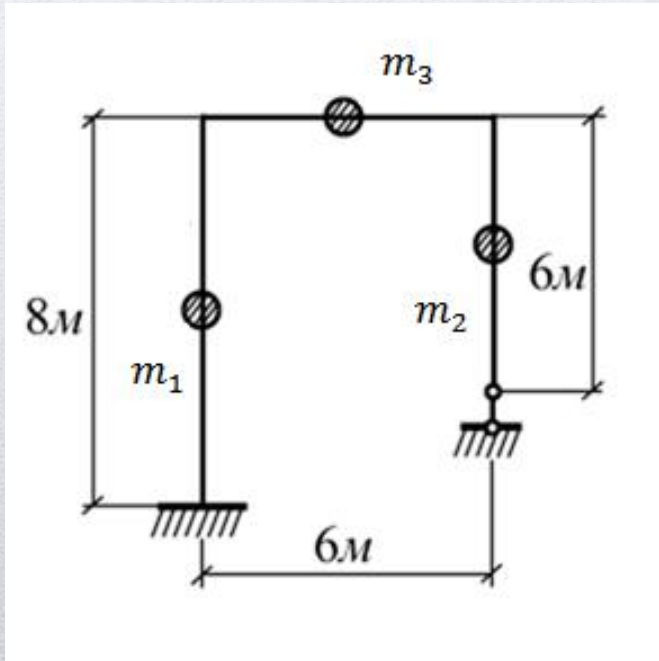


Рис.13. Расчетная схема.

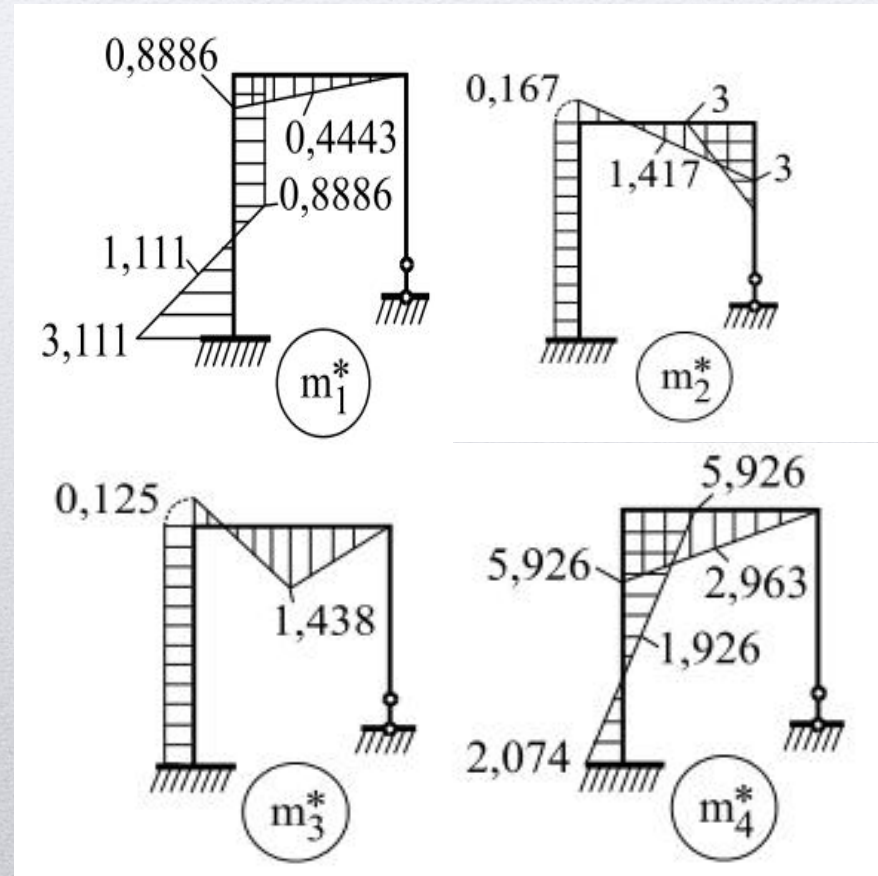


Рис.14. Суммарные эпюры изгибающих моментов.

Расчетные формулы

$$[D] = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \delta_{13} & \delta_{14} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{23} & \delta_{24} \\ \delta_{31} & \delta_{32} & \delta_{33} & \delta_{34} \\ \delta_{41} & \delta_{42} & \delta_{43} & \delta_{44} \end{bmatrix},$$

$$\delta_{ij} = \delta_{ji}, i, j = 1 \dots 4.$$

$$\delta_{ij} = \sum_k \int_s \frac{m_i^* \cdot m_j^*}{EJ} ds$$

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}$$

$$|[D] \cdot [M] - \lambda[I]| = 0$$

$$\omega_1 = 6.664 \text{ c}^{-1}, \omega_2 = 22.53 \text{ c}^{-1}, \omega_3 = 34.82 \text{ c}^{-1}, \omega_4 = 59.63 \text{ c}^{-1}.$$

Влияние опор на собственные частоты

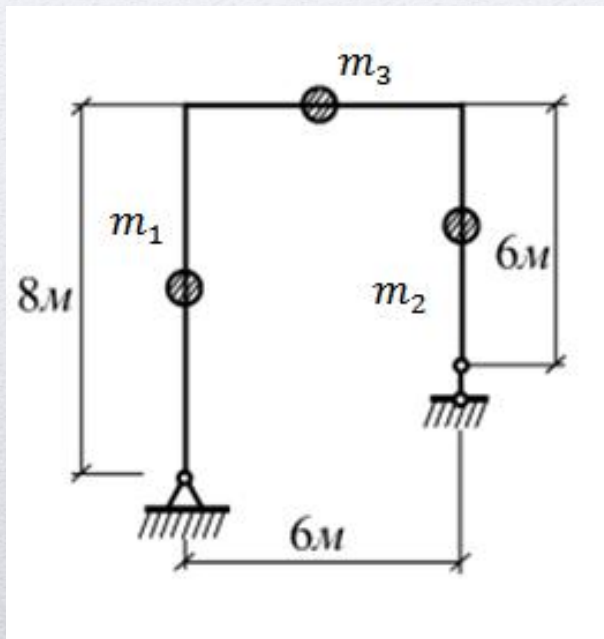


Рис.15. Расчетная схема.

Значения собственных частот:
 $\omega_1 = 3.425 \text{ c}^{-1}$, $\omega_2 = 28.03 \text{ c}^{-1}$,
 $\omega_3 = 59.75 \text{ c}^{-1}$, $\omega_4 = 344.1 \text{ c}^{-1}$.

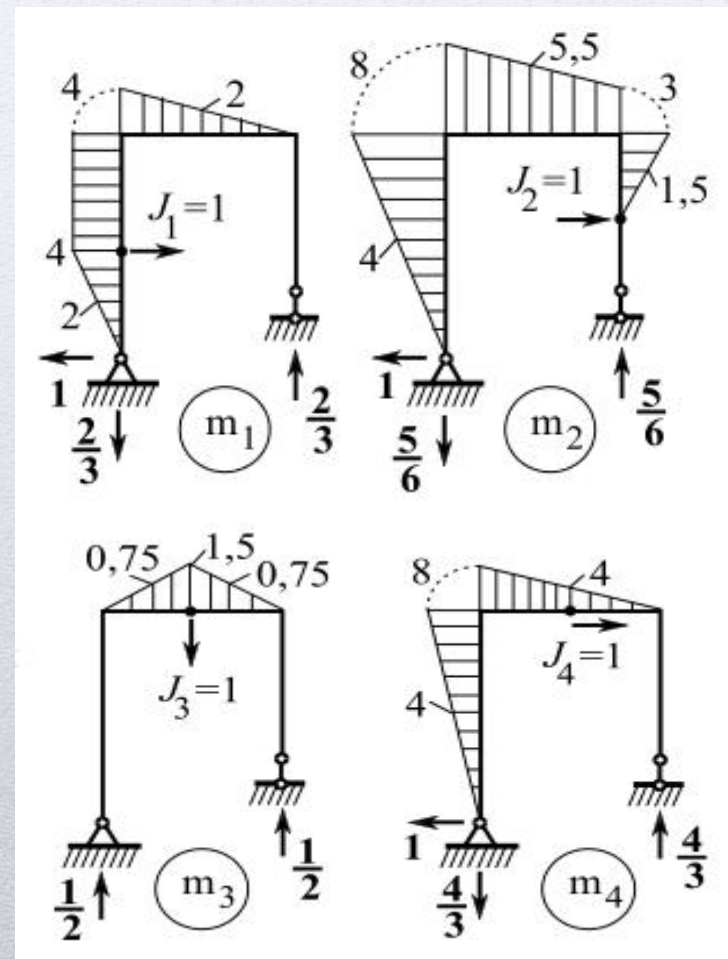


Рис.16. Суммарные эпюры изгибающих моментов.

Аналитический расчет собственных частот и форм колебаний

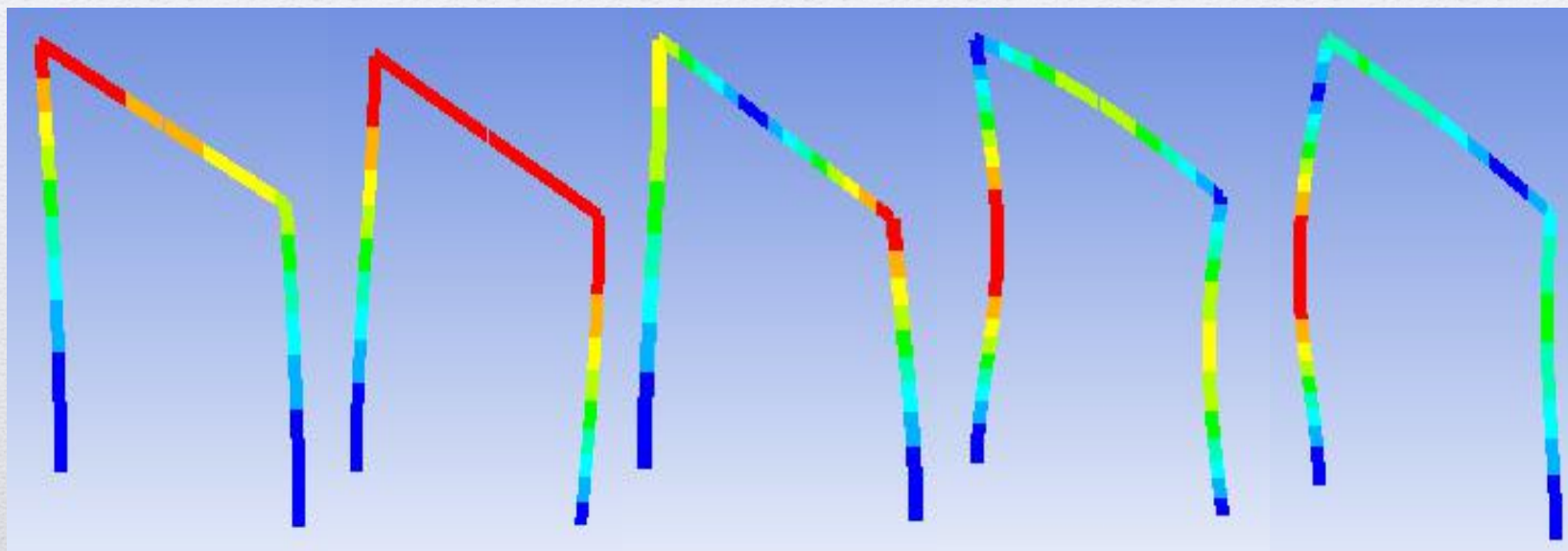


Рис.17. Формы колебаний.

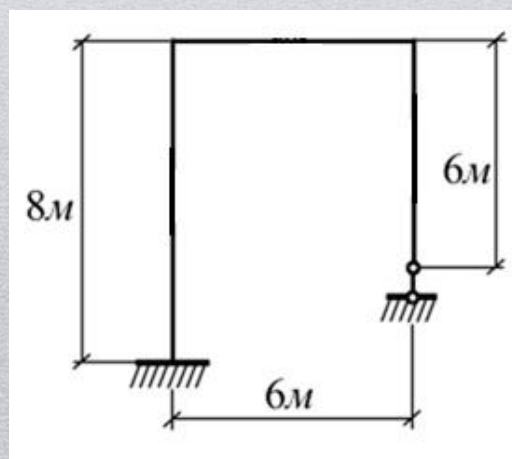


Рис.18. Расчетная схема.

Tabular Data

	Mode	<input checked="" type="checkbox"/> Frequency [Hz]
1	1,	4,2821
2	2,	5,197
3	3,	10,949
4	4,	30,122
5	5,	31,398

Рис.19. Значения частот собственных колебаний.

Аналитический расчет собственных частот и форм колебаний

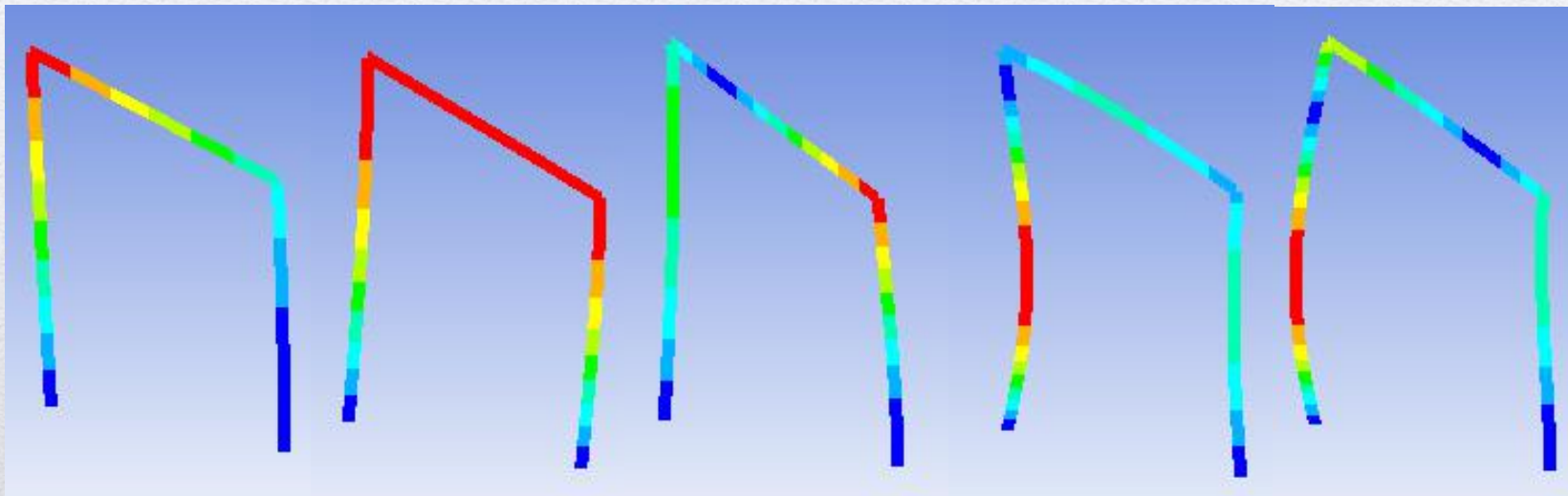


Рис.20. Формы колебаний.

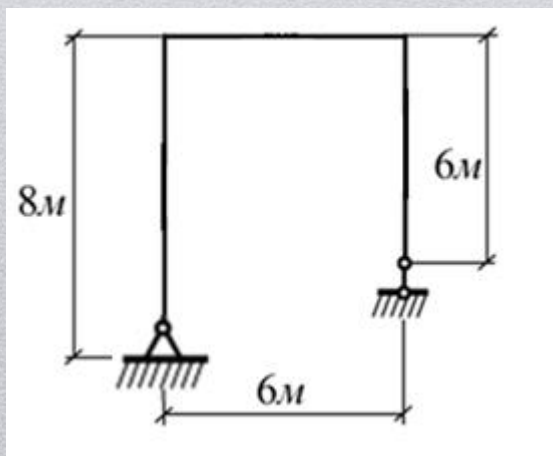


Рис.21. Расчетная схема.

Tabular Data		
	Mode	<input checked="" type="checkbox"/> Frequency [Hz]
1	1,	2,3727
2	2,	3,5909
3	3,	8,7985
4	4,	23,316
5	5,	23,514

Рис.22. Значения частот собственных колебаний.

Заключение

В результате работы был произведен расчет рамной конструкции эстакады технологического трубопровода на устойчивость, а именно: аналитический и численный расчет стержня на устойчивость; экспериментальное определение устойчивости стержня, численный расчет критической нагрузки при потере устойчивости рамной конструкции. Также был произведен динамический расчет собственных частот рамной конструкции, который включил в себя: аналитический расчет собственных частот рамной конструкции, численный расчет собственных частот и форм колебаний рамной конструкции, рассмотрены методы отстройки от резонанса.