

# **Строительная механика ракет-носителей**

## **Тема 3**

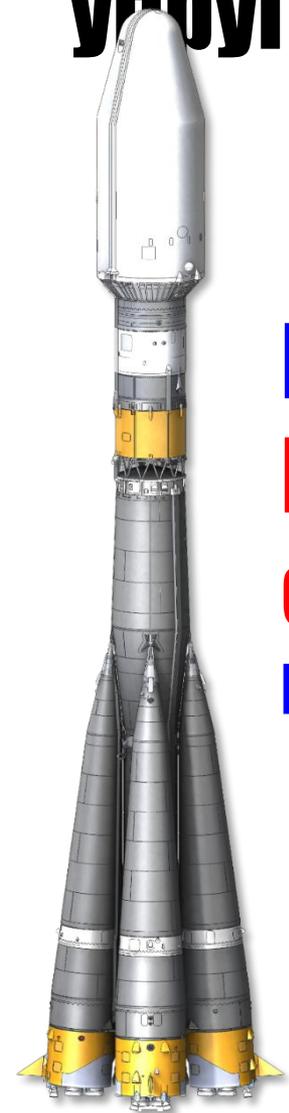
### **Понятие о несущей способности упругодеформируемых конструкций**

**Руководство к расчетно-графической работе**

# Тема 3 Понятие о несущей способности упругодеформируемых конструкций



**Расчетно-графическая работа**  
**Нагружение цилиндрической**  
**секционной оболочки**  
**Практическое занятие 3.4**



# Нагружение цилиндрической секционной оболочки

**Цель:**

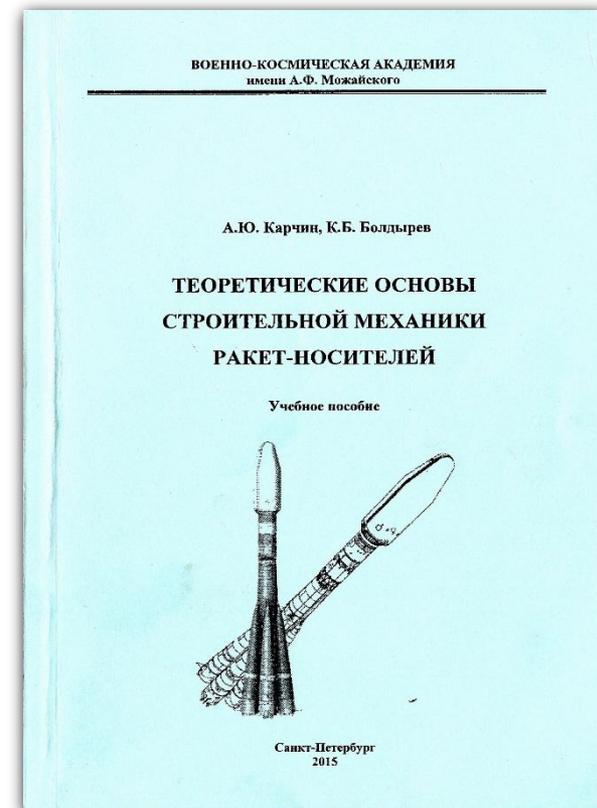
**1. Определить значения продольной силы в сечениях секционной оболочки /построить эпюру продольной силы/**

**2. Оценить несущую способность оболочки в различных условиях нагружения**

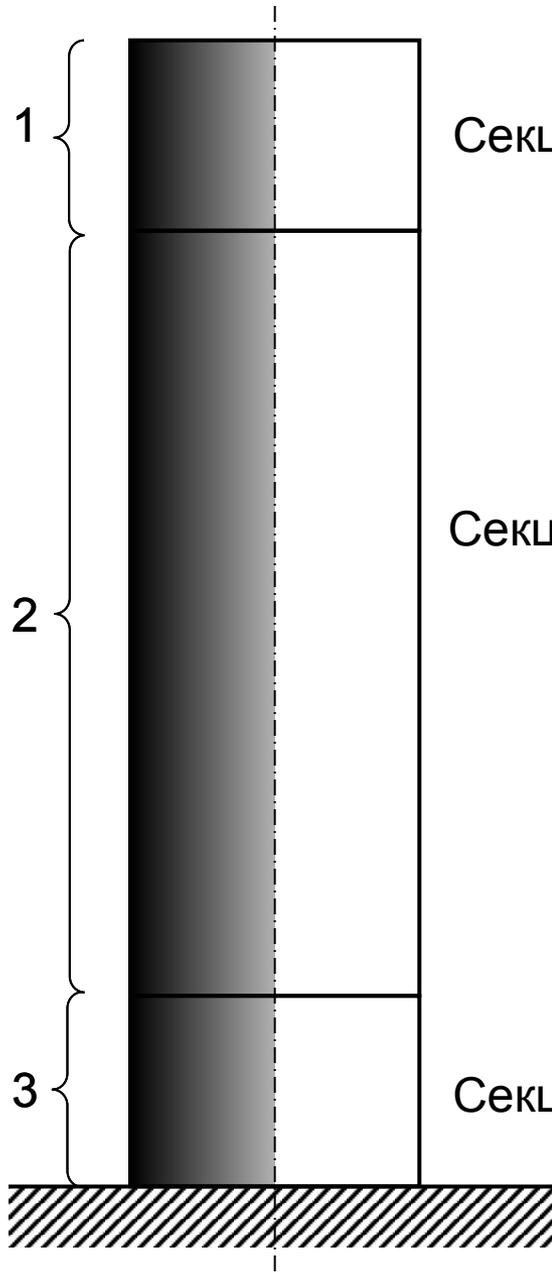
Карчин А.Ю., Болдырев К.Б.

**Теоретические основы строительной механики ракет-носителей** – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2015

**с. 151-156 (приложение)**



# Цилиндрическая секционная оболочка



Секция 1

Конструкция состоит из трех отдельных секций 1-3

Каждая секция представляет собой цилиндрическую оболочку

Секция 2

Конструкция установлена на жесткую поверхность и нагружена только **собственным весом**

Секция 3

# Цилиндрическая секционная оболочка



$m_{об1}$  — масса **секции 1**, кг

$l_{об1}$  — длина **секции 1**, м

$m_{об1p} = \frac{m_{об1}}{l_{об1}}$  — распределённая  
масса **секции 1**, кг/м

$m_{об2}$  — масса **секции 2**, кг

$l_{об2}$  — длина **секции 2**, м

$m_{об2p} = \frac{m_{об2}}{l_{об2}}$  — распределённая  
масса **секции 2**, кг/м

$m_{об3}$  — масса **секции 3**, кг

$l_{об3}$  — длина **секции 3**, м

$m_{об3p} = \frac{m_{об3}}{l_{об3}}$  — распределённая  
масса **секции 3**, кг/м

# Нагружение цилиндрической секционной оболочки

Определить значения продольной силы в различных сечениях оболочки /построить эпюру продольной силы/

Карчин А.Ю., Болдырев К.Б.

Теоретические основы строительной механики ракет-носителей – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2015

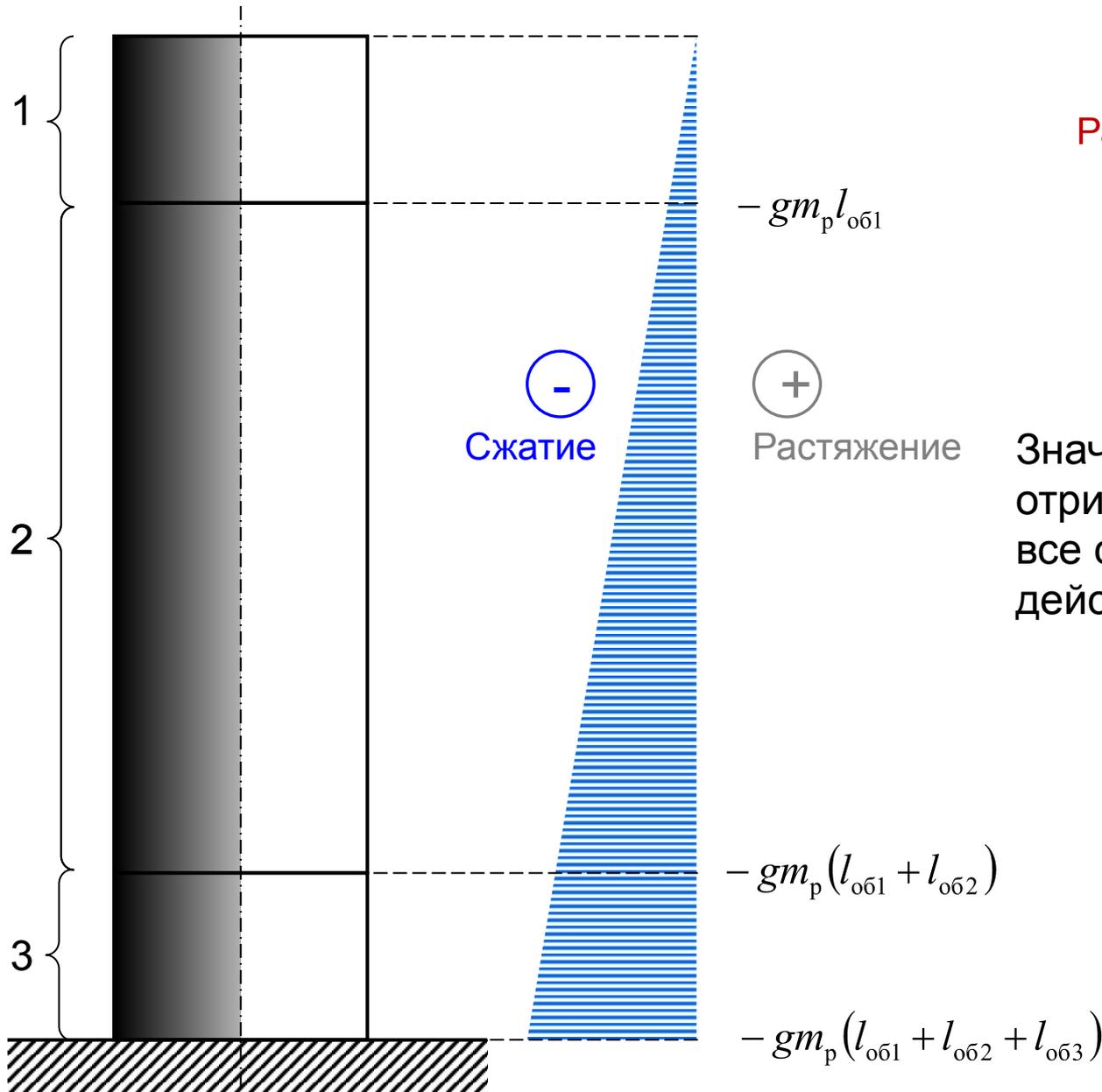
с. 151-156 (приложение)



# Построение эпюры продольной силы $N$

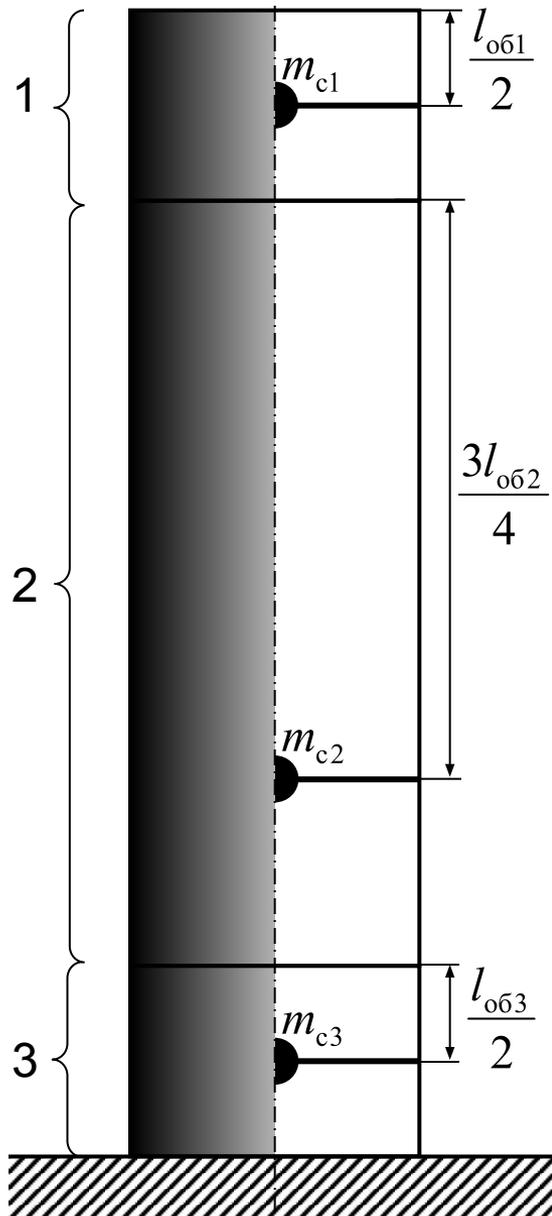
$$N_i = -g \int_0^{x_i} m_{pi}(x) dx$$

Распределенная масса



Значения силы  $N$  принимают отрицательные значения – все секции сжимаются под действием собственного веса

# Изменения условий нагружения секционной оболочки: установлены грузы (сосредоточенные нагрузки) в секциях



Сосредоточенная нагрузка 1

$m_{c1}$  — масса сосредоточенной нагрузки 1, кг

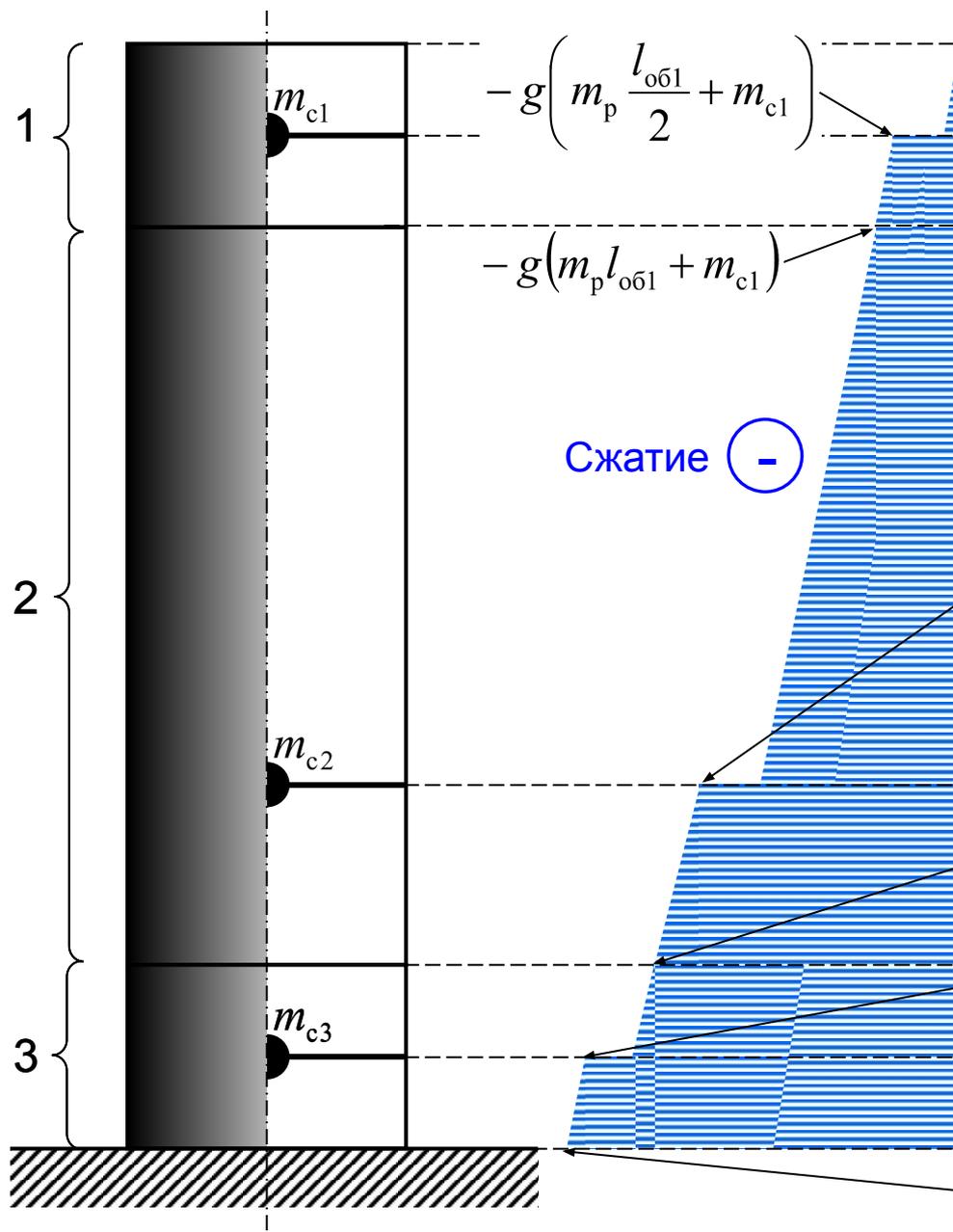
Сосредоточенная нагрузка 2

$m_{c2}$  — масса сосредоточенной нагрузки 2, кг

Сосредоточенная нагрузка 3

$m_{c3}$  — масса сосредоточенной нагрузки 3, кг

# Построение эпюры продольной силы $N$



$$N_i = -g \left( \int_0^{x_i} m_{pi}(x) dx + \sum_{j=1}^n m_{cj} \right)$$

Распределенная масса  
Сосредоточенная масса

Сжатие (-)

(+) Растяжение

$$-g \left( m_p \frac{l_{o61}}{2} + m_{c1} \right)$$

$$-g (m_p l_{o61} + m_{c1})$$

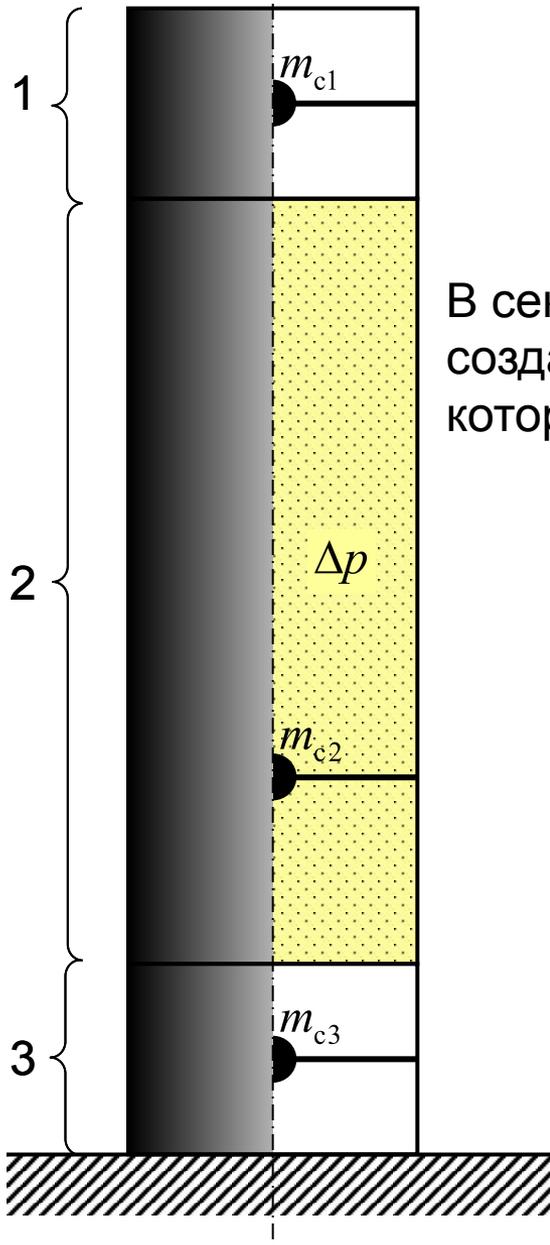
$$-g \left( m_p \left( l_{o61} + \frac{3l_{o61}}{4} \right) + m_{c1} \right)$$

$$-g (m_p (l_{o61} + l_{o62}) + m_{c1} + m_{c2})$$

$$-g \left( m_p \left( l_{o61} + l_{o62} + \frac{l_{o63}}{2} \right) + m_{c1} + m_{c2} + m_{c3} \right)$$

$$-g (m_p (l_{o61} + l_{o62} + l_{o63}) + m_{c1} + m_{c2} + m_{c3})$$

# Изменения условий нагружения секционной оболочки: создание избыточного давления в средней секции (секции 2)



В секции 2  
создано избыточное давление  $\Delta p$ ,  
которое растягивает оболочку

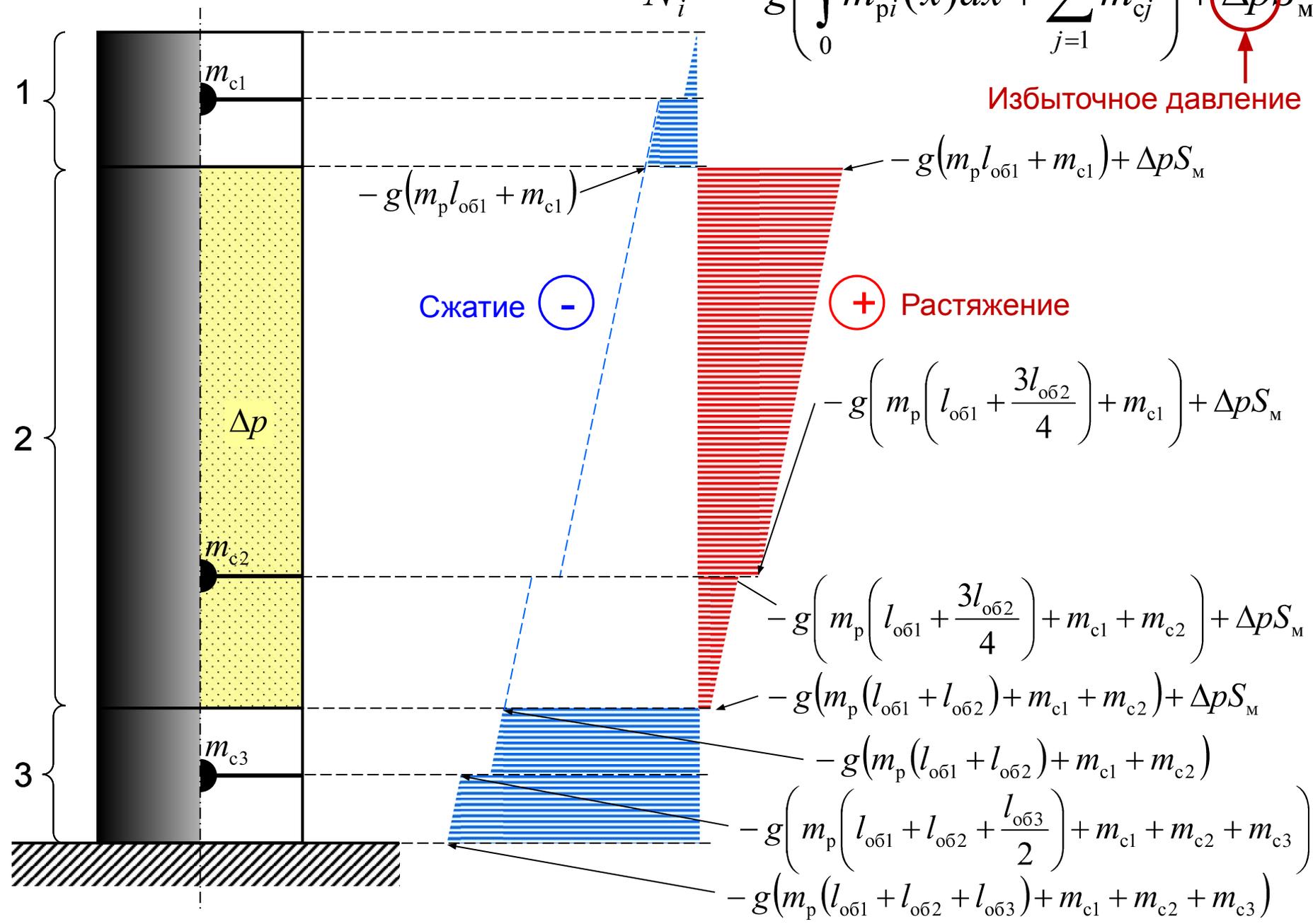
$\Delta p$  — давление наддува, Па

$$S_M = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4} \text{ — площадь поперечного сечения секции 2, м}^2$$

# Построение эпюры продольной силы $N$

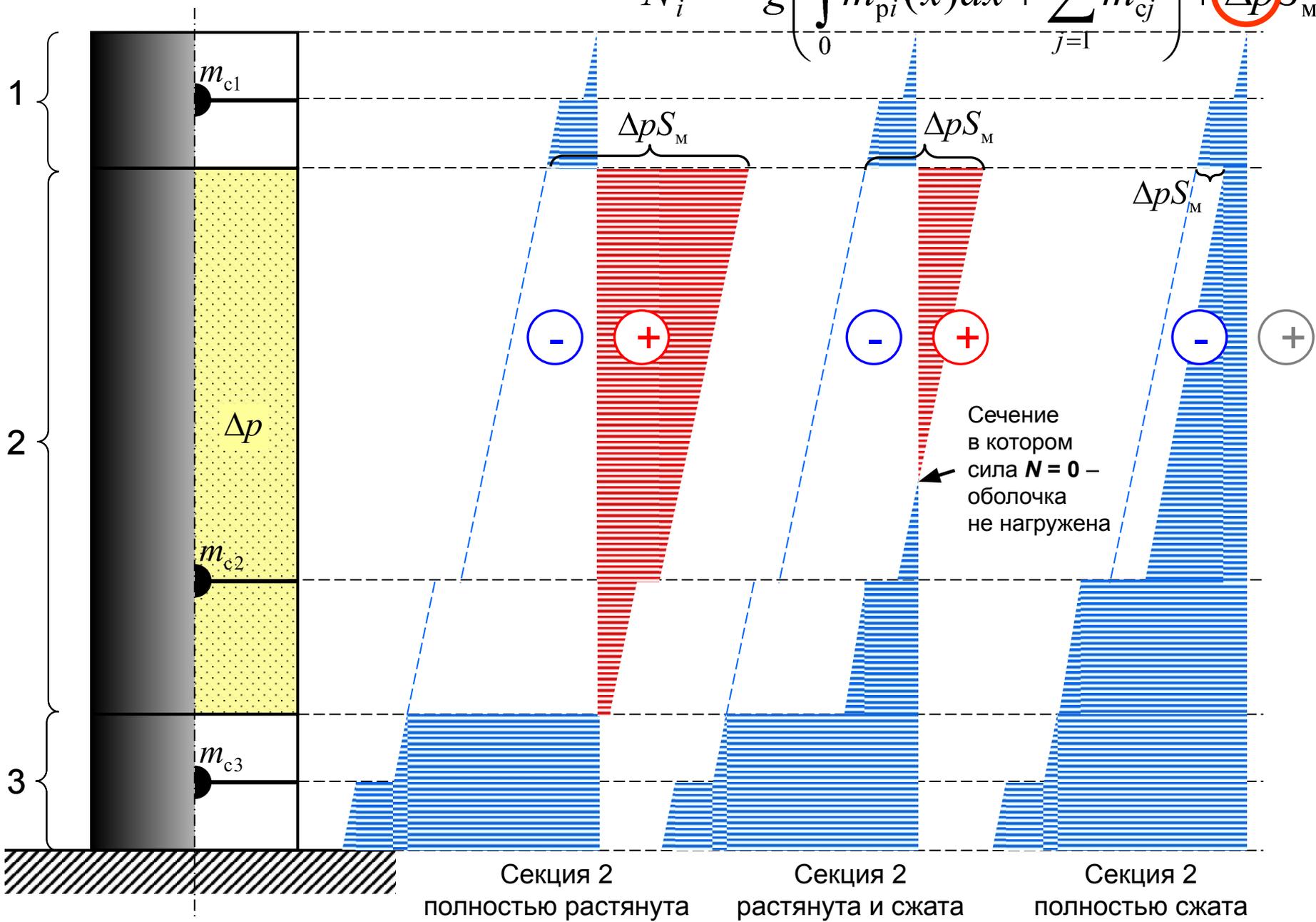
$$N_i = -g \left( \int_0^{x_i} m_{pi}(x) dx + \sum_{j=1}^n m_{cj} \right) + \Delta p S_M$$

Избыточное давление

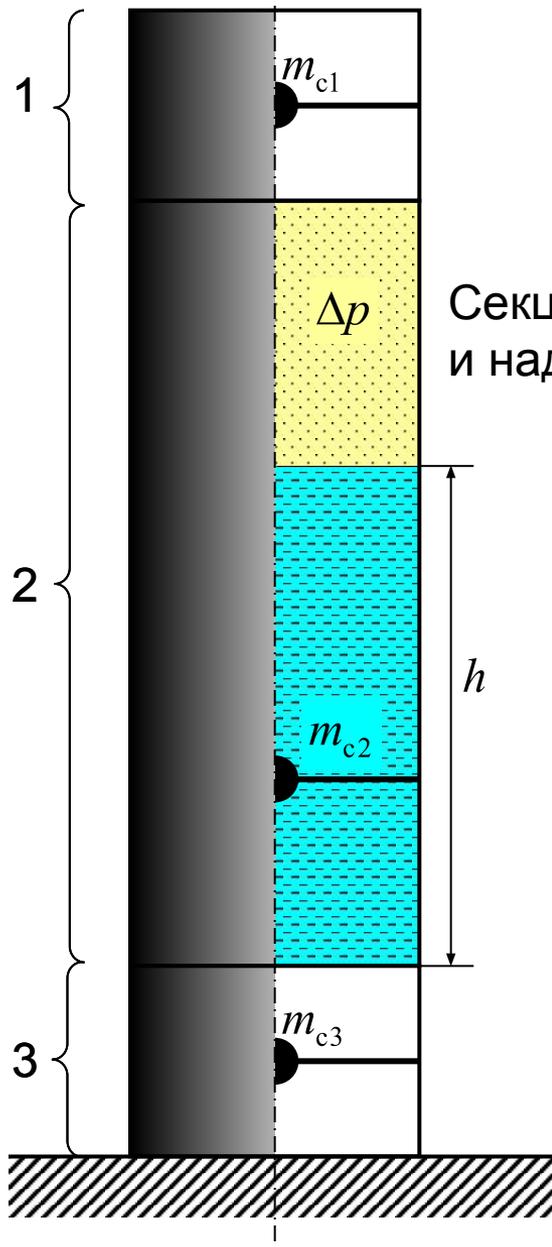


**Зависимость силы  $N$  от давления  $\Delta p$**

$$N_i = -g \left( \int_0^{x_i} m_{pi}(x) dx + \sum_{j=I}^n m_{cj} \right) + \Delta p S_M$$



# Изменения условий нагружения секционной оболочки: средняя секция (секция 2) наддута избыточным давлением и заполнена жидкостью



Секция 2 заполнена жидкостью  
и наддута избыточным давлением  $\Delta p$

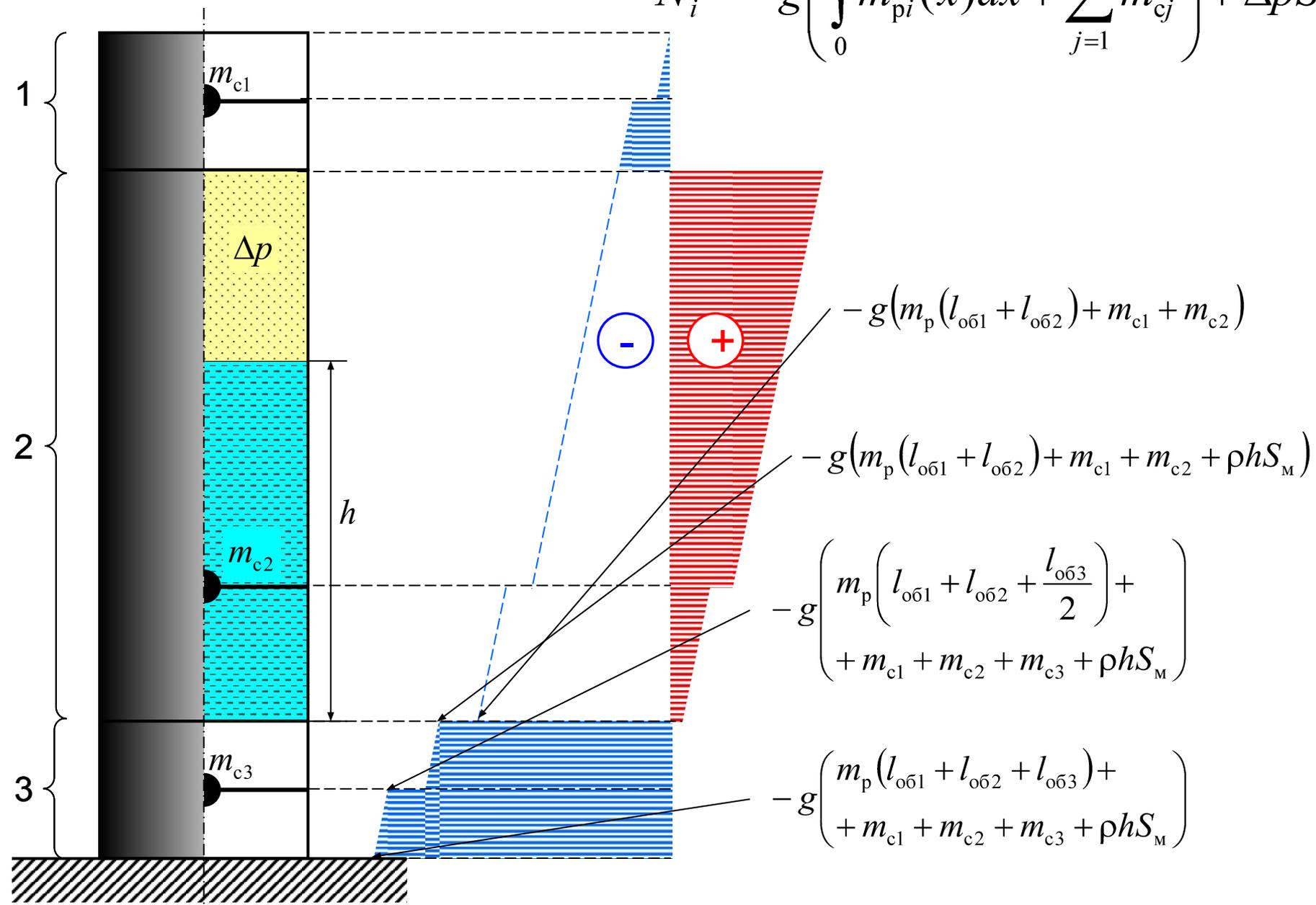
$\Delta p$  — давление наддува, Па

$m_{\text{ж}} = \rho h S_{\text{М}}$  — масса жидкости, кг

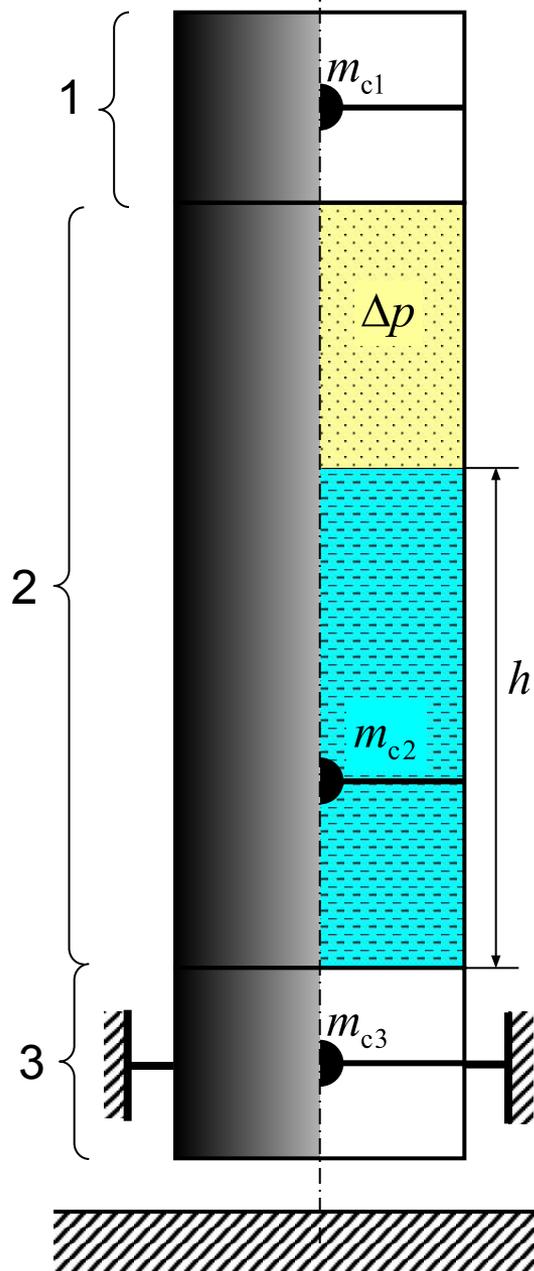
$S_{\text{М}} = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$  — площадь поперечного сечения секции 2, м<sup>2</sup>

# Построение эпюры продольной силы $N$

$$N_i = -g \left( \int_0^{x_i} m_{pi}(x) dx + \sum_{j=1}^n m_{cj} \right) + \Delta p S_M$$



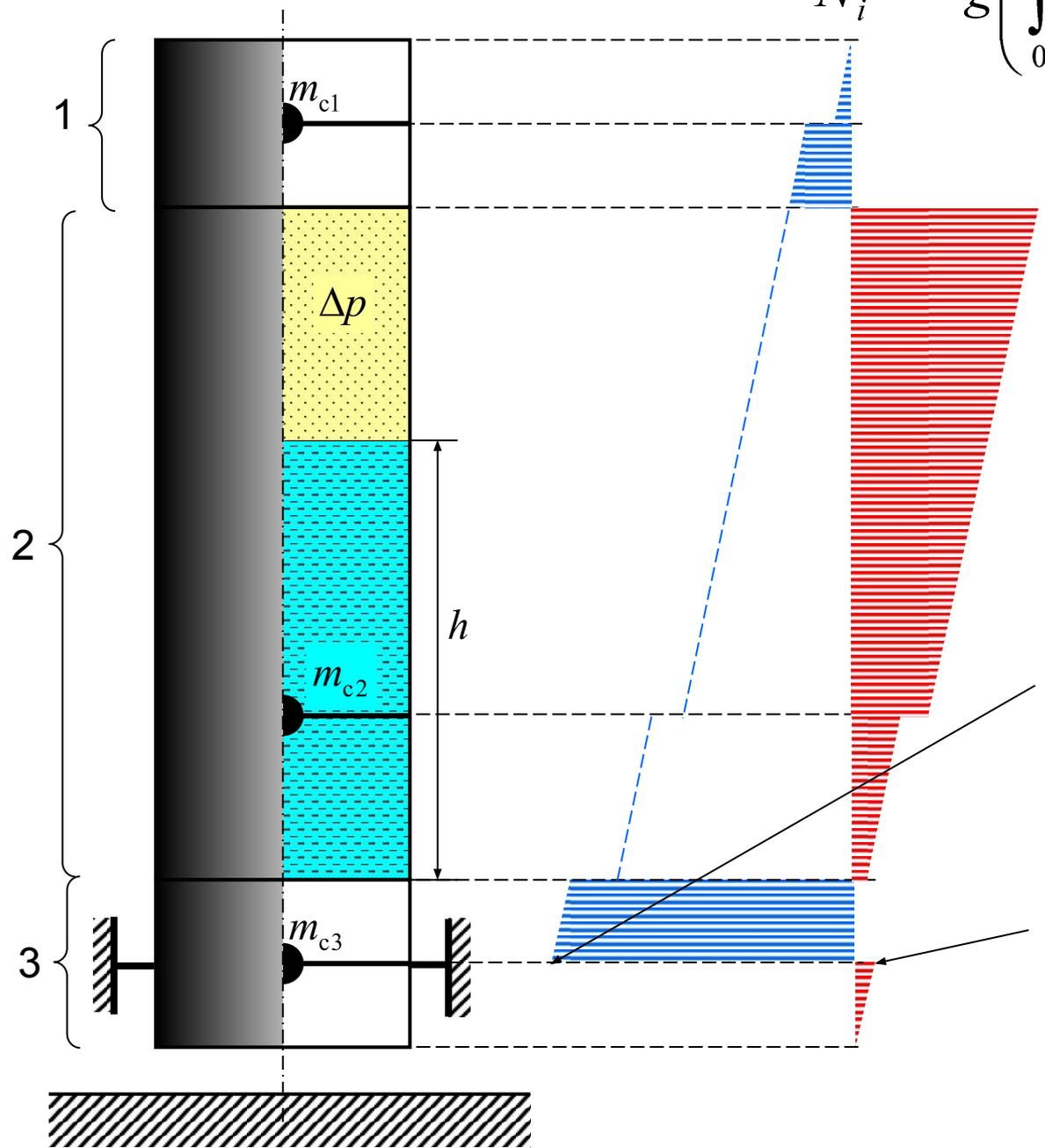
Изменения условий нагружения секционной оболочки:  
в нижней секции (секции 3) в сечении сосредоточенной нагрузки  
установлена опора



Опора (верхняя часть секции 3 **сжата**  
нижняя часть секции 3 **растянута**)

# Построение эпюры продольной силы $N$

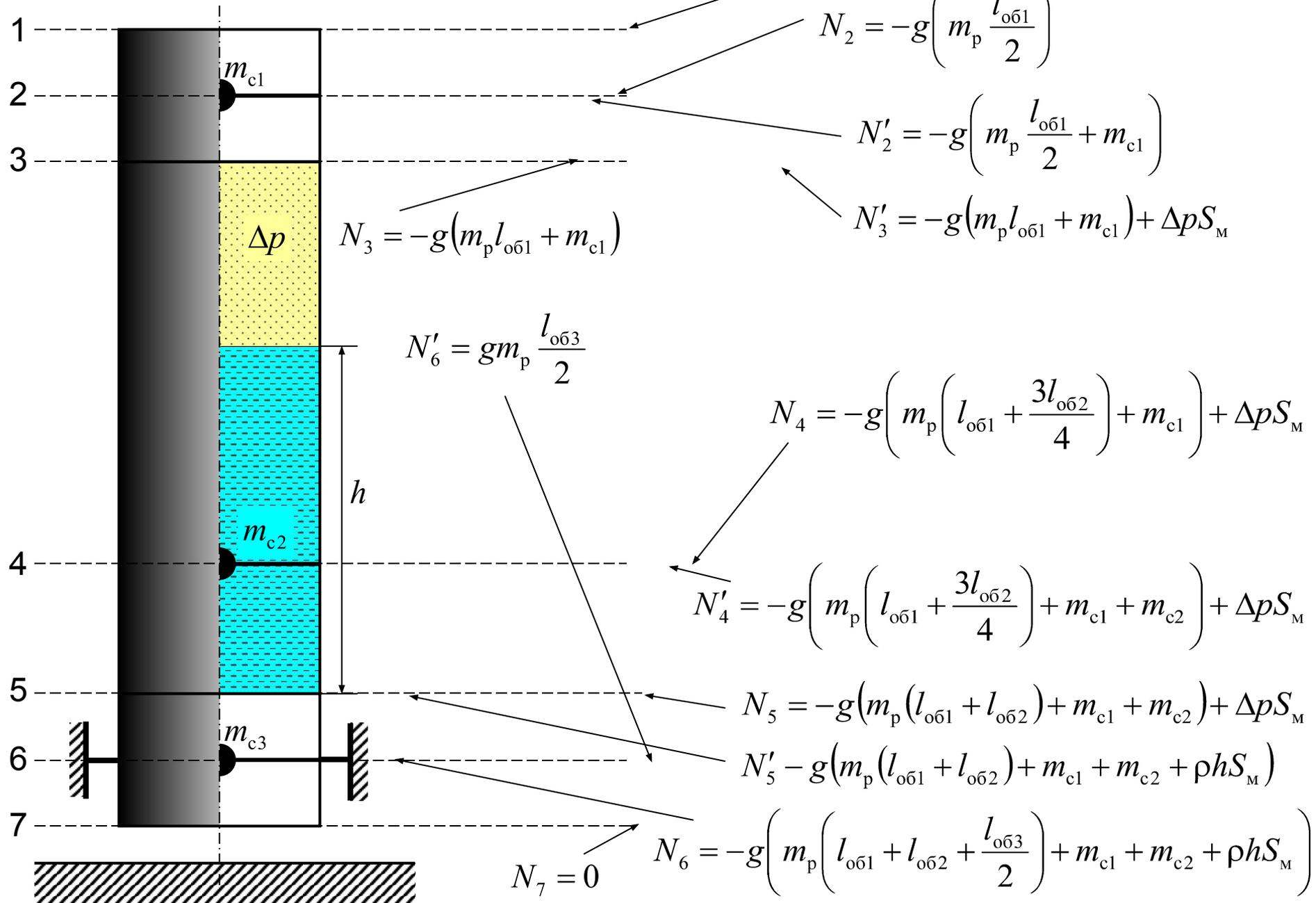
$$N_i = -g \left( \int_0^{x_i} m_{pi}(x) dx + \sum_{j=1}^n m_{cj} \right) + \Delta p S_M$$



$$-g \left( m_p \left( l_{o61} + l_{o62} + \frac{l_{o63}}{2} \right) + m_{c1} + m_{c2} + \rho h S_M \right)$$

$$gm_p \frac{l_{o63}}{2}$$

# Значения продольной силы $N$ в сечениях 1–7

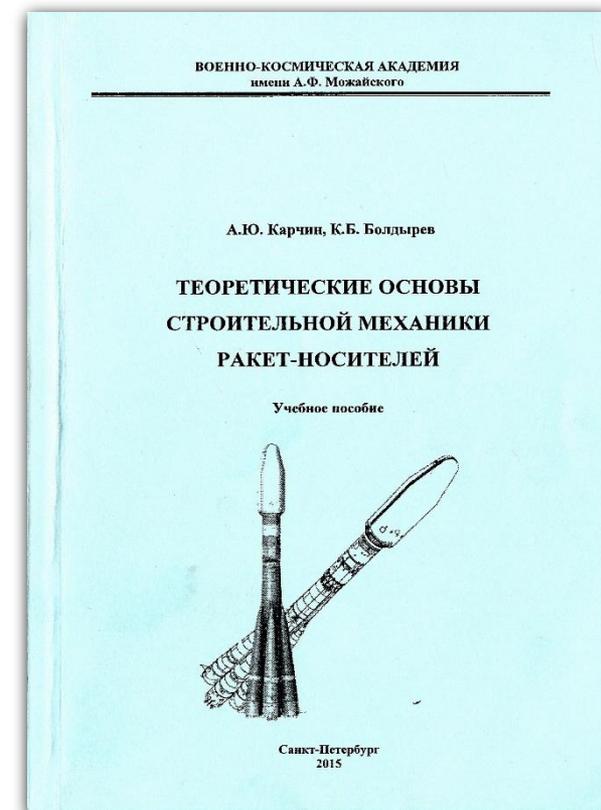


# Нагружение цилиндрической секционной оболочки

Оценить несущую способность оболочки в различных условиях нагружения

Использовать материалы:

- лекций **3.1** и **3.3**
- практических занятий **3.1** и **3.3**

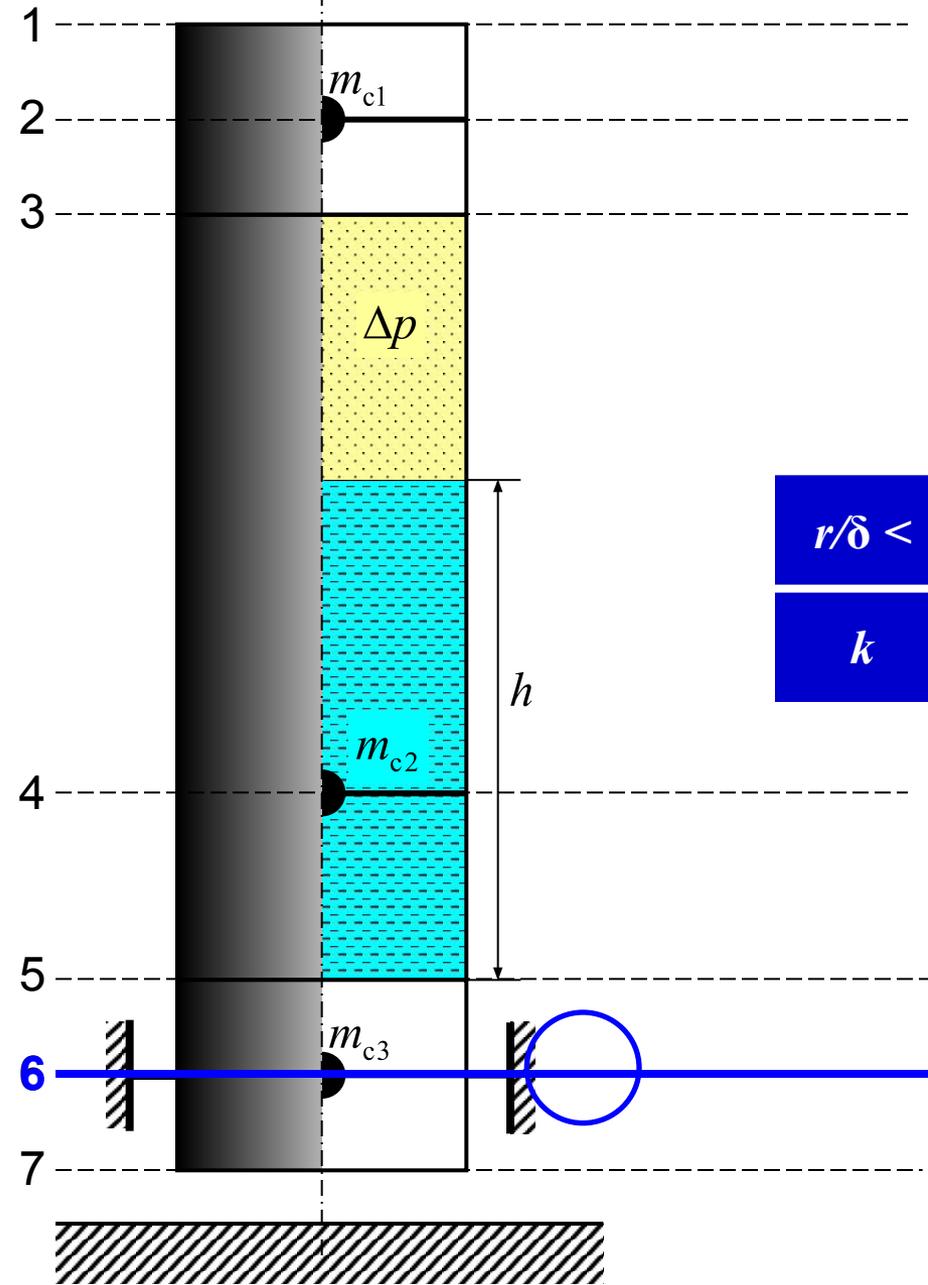


**Оценка несущей способности оболочки (проверка на устойчивость сжатой оболочки)**

**Коэффициент запаса устойчивости**

$$n_{кр} = \frac{F_{кр}}{N_{max}} = \frac{1}{N_6}$$

$$F_{кр} = k E \delta^2 2\pi$$



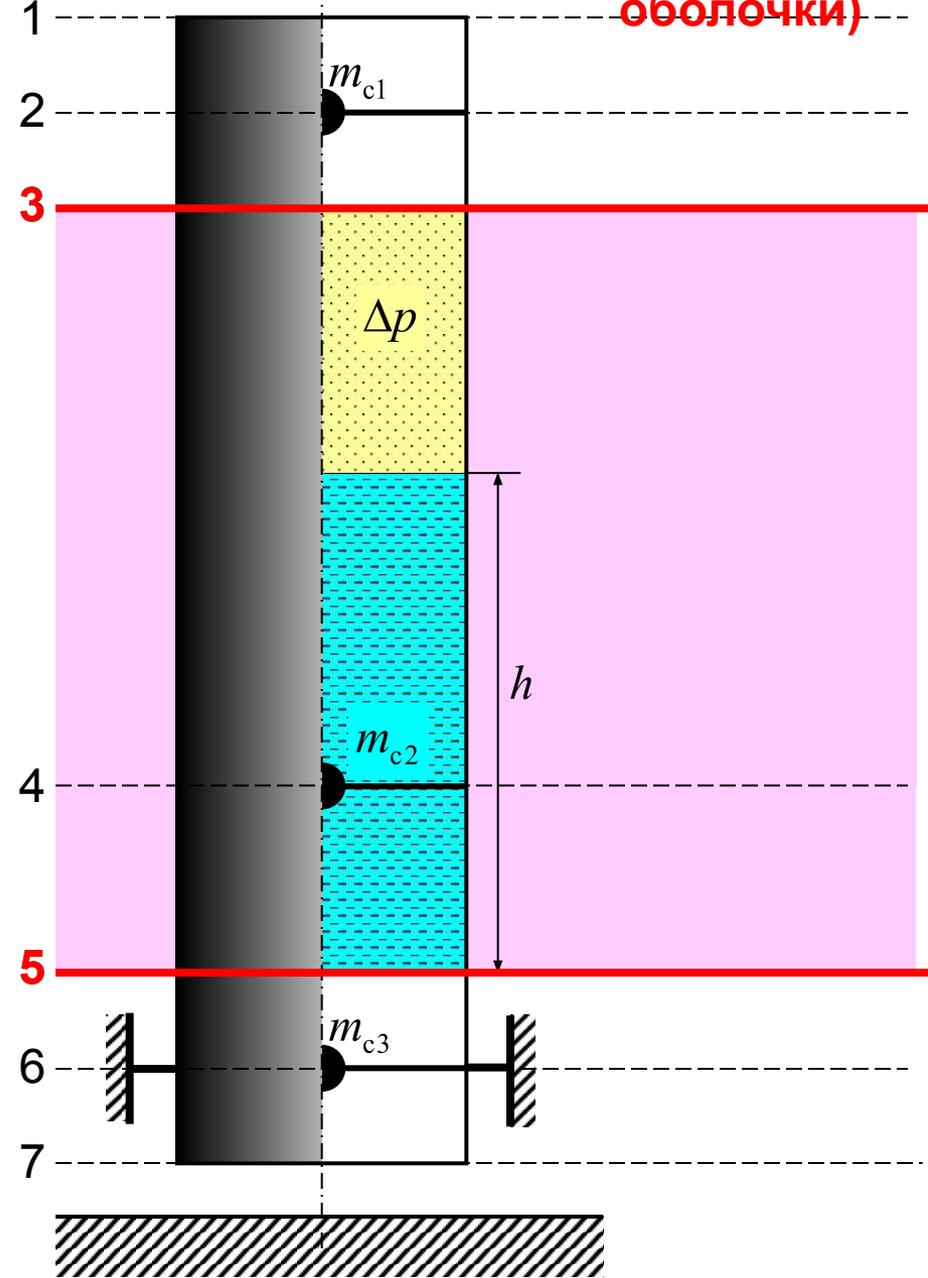
$r/\delta <$	250	500	750	1000	1500
$k$	0,15	0,14	0,12	0,10	0,09

Проверка на устойчивость

**Оценка несущей способности оболочки (проверка на прочность растянутой оболочки)**

**Коэффициент запаса прочности**

$$n_{пр} = \frac{\sigma_B}{\sigma_{max}} = \frac{\sigma_B}{\sigma_\theta} = \frac{\sigma_B}{\sigma_\theta}$$



**Проверка на прочность**

$$\sigma_\varphi = \frac{\Delta p r}{2\delta}$$

$$\sigma_\theta = \frac{(\Delta p + \rho g h) r}{\delta}$$

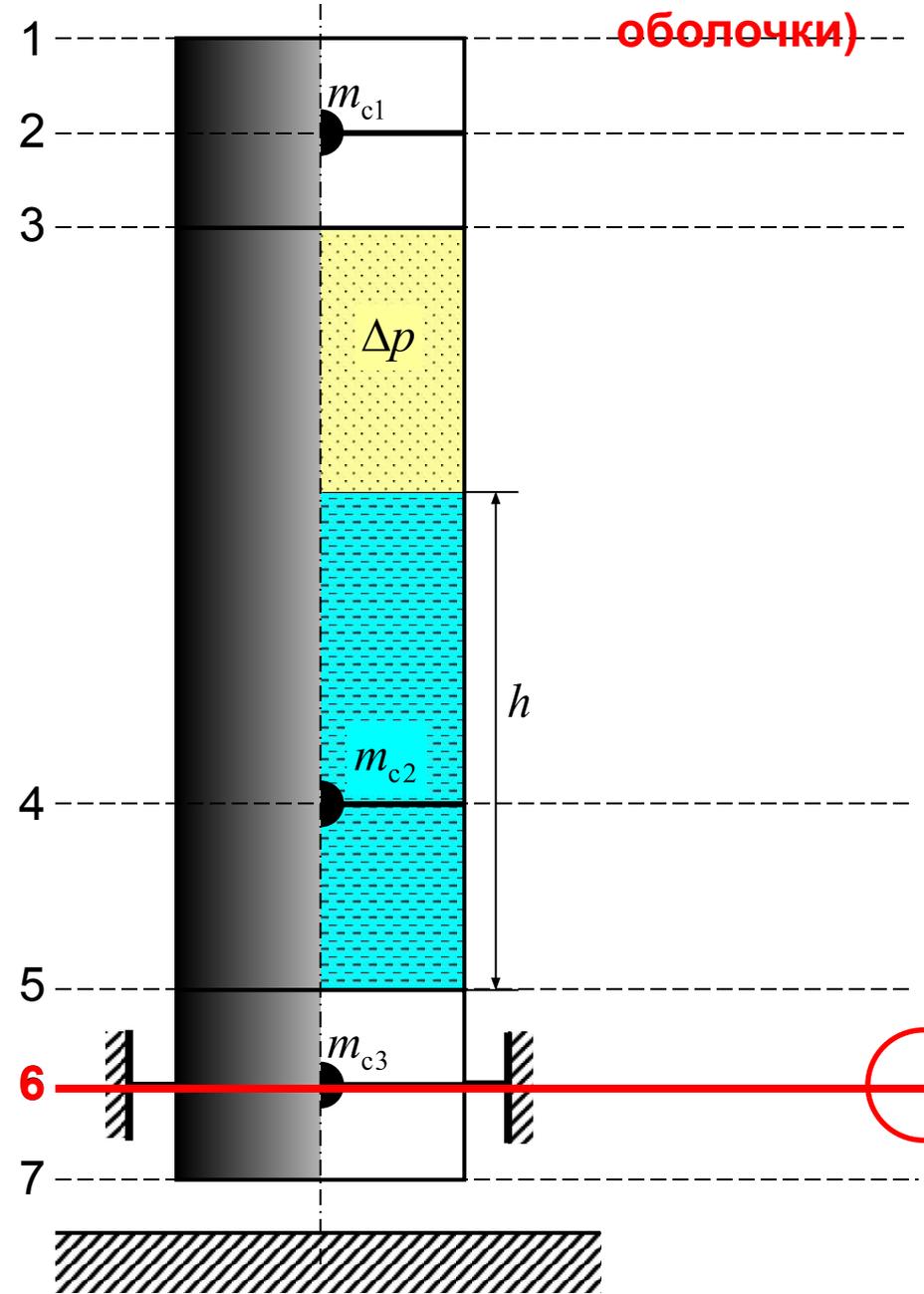
# Оценка несущей способности оболочки (проверка на прочность растянутой оболочки)

## Коэффициент запаса прочности

$$n_{\text{пр}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{\sigma_{\text{в}} 2\pi r \delta}{N_6}$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{(\Delta p + \rho g h) r}{\delta}$$

$$\sigma_{\varphi} = \frac{N_6}{2\pi r \delta}$$



Проверка на прочность

# Задание



# Тема 3 Понятие о несущей способности упругодеформируемых конструкций



**Расчетно-графическая работа**  
**Нагружение цилиндрической**  
**секционной оболочки**  
**Практическое занятие 3.4**

