

## Литература

1. <https://akvahit.ru/articles/kakoe-davlenie-dolzno-byt-v-sisteme-vodosnabzheniya-chastnogo-doma/>
2. [https://www.caleffi.com/sites/default/files/media/external-file/Idraulica\\_1\\_RU\\_Регулировка%20давления%20в%20водопроводных%20сетях.pdf](https://www.caleffi.com/sites/default/files/media/external-file/Idraulica_1_RU_Регулировка%20давления%20в%20водопроводных%20сетях.pdf)
3. [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/05/e3sconf\\_arfee2018\\_01015.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/05/e3sconf_arfee2018_01015.pdf)
4. <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/8/1600>
5. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022025452>
6. <https://www.avkrussia.com/ru-ru/познавая-новое/технологии-применяемые-в-водоснабжении/преимущества-управления-давлением>
7. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-023-01888-4>
8. <https://sovet-ingenera.com/vodosnab/nasosy/datchik-davleniya-vody-v-sisteme-vodosnabzheniya.html>
9. Методические указания к расчетно-графической работе по дисциплине «Механика жидкости и газа».

УДК 531.2

### ЗАДАЧА НА РАВНОВЕСИЕ СИСТЕМЫ ТЕЛ

Студент гр. 10705123 П. И. Ермолина

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Студент гр. 9 ДЭиВИ Т. С. Мышковец

Белорусский государственный технологический университет

Минск, Республика Беларусь

*Научный руководитель – ст. преподаватель Мышковец М. В.*

Цепь, состоящая из  $n$  одинаковых стержней (рисунок 1), подвешена в вертикальной плоскости.  $P$  – вес одного стержня;  $Q$  – заданная горизонтальная сила;  $O, A_1, A_2, \dots, A_n$  – шарниры. Найти углы  $\varphi_k$  ( $k = 1, 2, \dots, n$ ) стержней с вертикалью в положении равновесия.

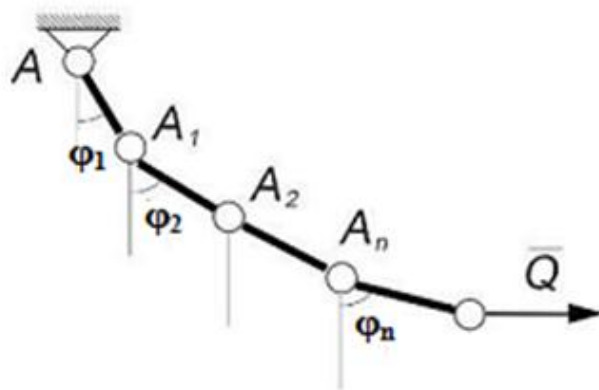


Рисунок 1. – Цепь

Рассмотрим равновесие всей конструкции и составим уравнения равновесия (рисунок 2):

$$1. \sum F_{kx} = 0: \quad -X_A + Q = 0 \Rightarrow X_A = Q;$$

$$2. \sum F_{ky} = 0: \quad Y_A - Pn = 0 \Rightarrow Y_A = Pn.$$

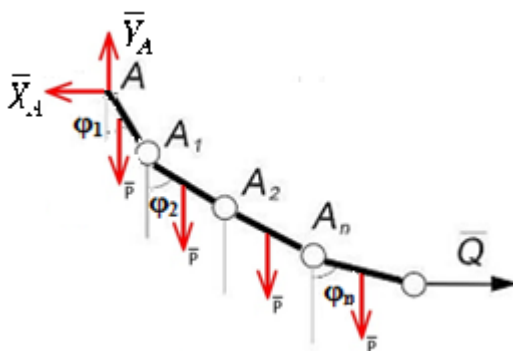


Рисунок 2. – Равновесие всей конструкции

Разобьём цепь по точке  $A_1$  и рассмотрим равновесие части  $AA_1$  (рисунок 3).

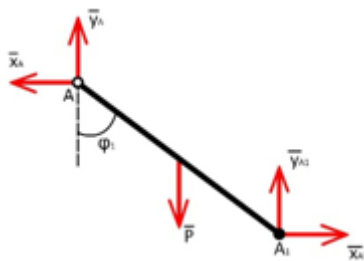


Рисунок 3. – Часть  $AA_1$

$$\sum F_{kx} = X_{A_1} - X_A = 0; \quad X_{A_1} = X_A = Q;$$

$$\sum F_{ky} = Y_A - P + Y_{A_1} = 0; \quad Y_{A_1} = P - Y_A = P - Pn = P(1 - n);$$

$$\Sigma M_A(\vec{F}_k) = -P \frac{l}{2} \sin \varphi_1 + Y_{A_1} l \sin \varphi_1 + X_{A_1} l \cos \varphi_1 = 0. \quad (1)$$

Из уравнения (1) выразим  $\operatorname{tg} \varphi_1$ :

$$\sin \varphi_1 \left( X_{A_1} - \frac{P}{2} \right) = -X_{A_1} \cos \varphi_1;$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{X_{A_1}}{\frac{P}{2} - Y_{A_1}} = 2 \cdot \frac{X_{A_1}}{P - 2Y_{A_1}} = \frac{2Q}{P - 2P(1-n)} = \frac{2Q}{P(1-2+2n)} = \frac{2Q}{P(2n-1)}.$$

Рассмотрим равновесие части  $A_1A_2$  (рисунок 4). Составим для неё три уравнения равновесия, учитывая, что  $X_{A_1} = X'_{A_1}$ ;  $Y_{A_1} = Y'_{A_1}$ .

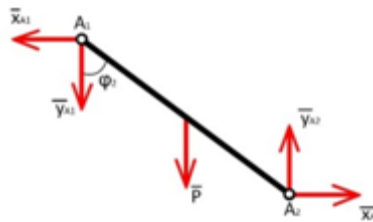


Рисунок 4. – Часть  $A_1A_2$

$$\Sigma F_{kx} = -X'_{A_1} + X_{A_2} = 0; \quad X_{A_2} = X'_{A_1} = Q;$$

$$\Sigma F_{ky} = Y_{A_2} - Y'_{A_1} - P = 0;$$

$$Y_{A_2} = P + Y'_{A_1} = P + P(1-n) = P(1+1-n) = P(2-n);$$

$$\Sigma M_{A_2}(\vec{F}_k) = P \frac{l}{2} \sin \varphi_2 + Y'_{A_1} l \sin \varphi_2 + X'_{A_1} l \cos \varphi_2 = 0.$$

Выразим  $\operatorname{tg} \varphi_2$ :

$$\sin \varphi_2 \left( \frac{P}{2} + Y'_{A_1} \right) = -X'_{A_1} \cos \varphi_2;$$

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = -\frac{X'_{A_1}}{\frac{P}{2} + Y'_{A_1}} = -\frac{2Q}{P + 2P(1-n)} = -\frac{2Q}{P(1+2-2n)} = -\frac{2Q}{P(3-2n)} =$$

$$= \frac{2Q}{P(2n-3)}.$$

Рассмотрим часть  $A_2A_3$  и составим для неё три уравнения равновесия (рисунок 5).

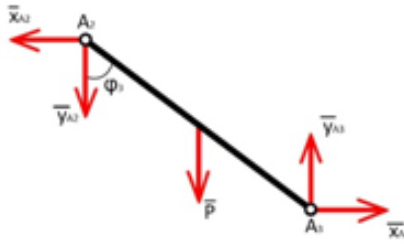


Рисунок 5. – Часть  $A_2A_3$

$$\begin{aligned}
 X'_{A_2} &= X_{A_2}; & Y'_{A_2} &= Y_{A_2}; \\
 \sum F_{kx} &= X_{A_3} - X'_{A_2} = 0; & X_{A_3} &= X'_{A_2} = Q; \\
 \sum F_{ky} &= Y_{A_3} - P - Y'_{A_2} = 0; & Y_{A_3} &= P + Y_{A_2} = P + P(2 - n) = P(3 - n); \\
 \sum M_{A_3}(\vec{F}_k) &= P \frac{l}{2} \sin \varphi_3 + Y'_{A_2} l \sin \varphi_3 + X'_{A_2} l \cos \varphi_3.
 \end{aligned}$$

Выразим

$$\begin{aligned}
 \operatorname{tg} \varphi_3 &= -\frac{X'_{A_2}}{\frac{P}{2} + Y'_{A_2}} = -\frac{Q}{\frac{P}{2} + Y'_A} \frac{2}{2} = -\frac{2Q}{P + 2P(2 - n)} = -\frac{2Q}{P(1 + 4 - 2n)} = \\
 &= -\frac{2Q}{P(5 - 2n)} = \frac{2Q}{P(2n - 5)}.
 \end{aligned}$$

Из решения можно вывести закономерность:

$$\begin{aligned}
 X_{A_n} &= Q; \\
 Y_{A_n} &= P(k - n); \\
 \operatorname{tg} \varphi_n &= \frac{2Q}{P(1 + 2(n - k))}.
 \end{aligned}$$

### Литература

1. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики: учебник для втузов / С.М.Тарг. – 12-изд., стер. – М.: Высшая школа, 2002. – 416 с.
2. Мышковец, М. В., Теоретическая механика. Статика [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие для студентов дневной, заочной и дистанционной форм обучения / М. В. Мышковец, В. Д. Тульев, Белорусский национальный технический университет, кафедра "Теоретическая механика". – Минск : БНТУ, 2013.
3. Сборник олимпиадных задач по теоретической механике: в 3 ч. / А.И. Попов и др. – ТГТУ, 2006, ч. 1. – 95 с.