

УДК 539.3

МАКСАК ВЛАДИСЛАВ ИВАНОВИЧ, докт. техн. наук, профессор,
mksak@mail.ru

ПИСЛЯРУК АЛИНА ВИКТОРОВНА, студентка,

alina_baby_1206@mail.ru

Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2

РАСЧЕТ ОДНООСНОГО ЮСТИРОВОЧНОГО УЗЛА ЗЕРКАЛ РЕЗОНАТОРА ОПТИЧЕСКОГО КВАНТОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Рассмотрены две конструкции юстировочных узлов. Энергетическим методом определены деформации их упругих элементов. Аналитически определена связь между углом поворота юстировочного винта и углом поворота нормали зеркала резонатора. Дана оценка влияния конструкционных параметров узла на его рабочие характеристики. Результаты могут быть применимы в строительной лазерной технике.

Ключевые слова: оптический квантовый генератор; расчет юстировочного узла; энергетический метод.

VLADISLAV I. MAKSAK, DSc, Professor,

mksak@mail.ru

ALINA V. PISLYARUK, Student,

Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia

DESIGN OF UNIAXIAL ADJUSTABLE MIRRORS OF RESONANT OPTICAL-QUANTUM GENERATOR

The paper presents two design models of adjustable mirror assembly. The energy techniques is used to detect deformations of their elastic members. The analysis was carried out to establish the relation between the turning angles of the adjusting screw and the resonant mirror normal. The effect provided by the structural parameters of the mirror assembly on its operating characteristics is studied in this paper. The results obtained can be used in construction laser technology.

Keywords: optical-quantum generator; adjustable mirror assembly; energy method.

Конструкции узлов для юстировки зеркал резонатора, применяемых в исследованиях атмосферы, успешно могут использоваться и в строительной лазерной технике для измерения линейных и угловых координат [1, 2]. Такие узлы показаны на рис. 1 и 2. Поворот зеркала резонатора 1 осуществляется за счет упругих деформаций рамной системы путем вращения регулировочного винта 2. Целью расчета является определение угла поворота зеркала при повороте винта. Для этого необходимо вычислить угловые перемещения зеркала φ_C и линейные перемещения δ_B в резьбовом соединении под действием возникающего в нем усилия F . Узел, изображенный на рис. 1, схематически представлен на рис. 3.

Для вычисления перемещений используется энергетический метод [3–6]. Участки b и c , как и в последующих схемах, принимаются абсолютно жесткими. При завинчивании винта 2 возникающая сила F деформирует участки a верхней балки CB и нижней C_1A ; изгиб нижней балки приводит к повороту точки C , т. е. к повороту зеркала. Жесткость верхней балки определяет, насколько при этом нужно повернуть винт 2. Осевой момент инерции поперечного сечения верхней балки J_2 отличается от момента инерции J_1 нижней балки.

Для определения обобщенного перемещения любой точки энергетическим способом удобно использовать интеграл Мора, который имеет вид

$$\delta = \sum_i \int \frac{M_{xi} M_{li}}{EJ_i} dx, \quad (1)$$

где i – номер силового участка; l – длина силового участка; M_x – изгибающий момент от внешней нагрузки в иксовом сечении на участке i ; M_{li} – изгибающий момент в этом же сечении от внешней нагрузки, равной единице и приложенной в той точке и по тому направлению, где и по какому направлению определяется перемещение (для определения углового перемещения прикладывается момент, равный единице, а для определения линейного перемещения прикладывается равная единице сила); E – модуль упругости материала; J_i – осевой момент инерции соответствующего участка; Σ – знак суммирования интегралов по участкам.

Для определения угла поворота точки C прикладывается в этой точке по предполагаемому направлению момент M_C , равный единице. При этом в сечении x_1 момент M_{1x_1} будет равен

$$M_{1x_1} = R_A (b + x_1). \quad (2)$$

Здесь R_A определяется из условия равновесия

$$R_A = \frac{1}{a + b + 2c}.$$

Тогда

$$M_{1x_1} = \frac{b + x_1}{a + b + 2c}.$$

На участке x_2 момент от $M_C = 1$ равен нулю. Моменты M_{x_1} и M_{x_2} от внешней силы F и реактивной $R_A = F$ равны между собой и равны

$$M_{x_1} = M_{x_2} = F(b + x). \quad (3)$$

Угол φ_C поворота точки C определится по формуле (1)

$$\varphi_C = \int \frac{F(b + x_1)(b + x_1)}{EJ_1(a + b + 2c)} dx_1.$$

После интегрирования получим

$$\varphi_c = \frac{F \cdot a}{EJ_1(a+b+2c)} \left(\frac{a^2}{3} + ab + b^2 \right). \quad (4)$$

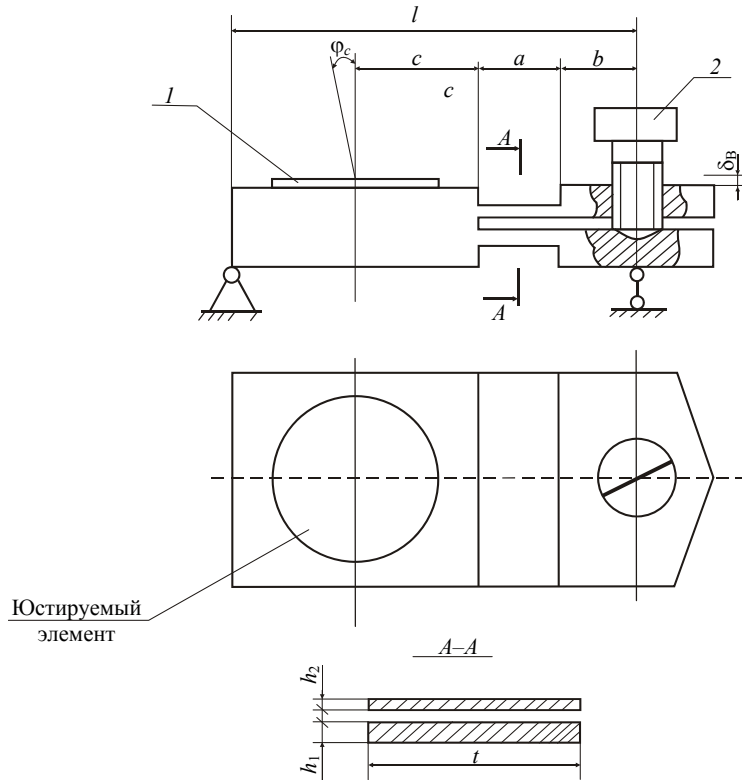


Рис. 1. Узел 1

Для определения линейного перемещения δ_B единичная сила $F = 1$ приложена в точке B . Тогда, по аналогии с (3), моменты M_{1x_1} и M_{1x_2} будут равны

$$M_{1x_1} = M_{1x_2} = 1(b+x). \quad (5)$$

Интеграл Мора (1) для определения перемещения δ_B имеет вид

$$\delta_B = \int_a^l \frac{F(b+x)}{EJ_1} (b+x) dx + \int_a^l \frac{F(b+x)}{EJ_2} (b+x) dx.$$

После интегрирования получим

$$\delta_B = \frac{(J_1 + J_2 Fa)}{EJ_1 J_2} \left(\frac{a^2}{3} + ab + b^2 \right). \quad (6)$$

Исключая силу F из (4) и (6), получим связь между φ_C и δ_B :

$$\varphi_C = \frac{J_2}{J_1 + J_2} \frac{\delta_B}{(a + b + 2c)}.$$

При $a + b + 2c = l$

$$\varphi_C = \frac{J_2}{J_1 + J_2} \frac{\delta_B}{l}. \quad (7)$$

Перемещение δ_B связано с вращением винта и его шагом S :

$$\delta_B = S \cdot n, \quad (8)$$

где n – число оборотов винта.

Осовой момент инерции для прямоугольного сечения определяется по формуле

$$J = \frac{th^3}{12}.$$

Здесь t – ширина поперечного сечения; h – высота сечений h_1 и h_2 нижней и верхней балок (рис. 1).

Для балок a и b ширина t одинакова. При этом для формулы (7)

$$\frac{J_2}{J_1 + J_2} = \frac{h_2^3}{h_1^3 + h_2^3}. \quad (9)$$

С учетом (9) и (8) формула (7) примет вид

$$\varphi_C = \frac{h_2^3}{h_1^3 + h_2^3} \frac{S \cdot n}{l}. \quad (10)$$

Эта формула позволяет вычислить угол φ_C поворота зеркала резонатора (рис. 1) при повороте регулировочного винта шагом S на n оборотов, в том числе и на доли одного оборота.

Второй узел (рис. 2) схематически представлен на рис. 4. Задача сводится к определению зависимости, аналогичной (10).

Моменты M_{x_1} и M_{x_2} от внешней силы F имеют значение (3).

Моменты от единичной силы, приложенной в точке B по направлению силы F , сохраняют значение (5). Моменты от единичного момента, приложенного в точке C , также определяются по формуле (2), но реакция R_A при этом имеет следующее значение:

$$R_A = \frac{1}{2(a+b+c)}.$$

Угол поворота точки C определится по формуле

$$\varphi_C = \frac{Fa}{2EJ_1(a+b+c)} \left(\frac{a^2}{3} + ab + b^2 \right), \quad (11)$$

а перемещение δ_B точки B – по формуле (6). Исключая силу F из (11) и (6), получим связь между φ_C и δ_B :

$$\varphi_C = \frac{J_2}{J_1 + J_2} \frac{\delta_B}{2(a+b+c)}.$$

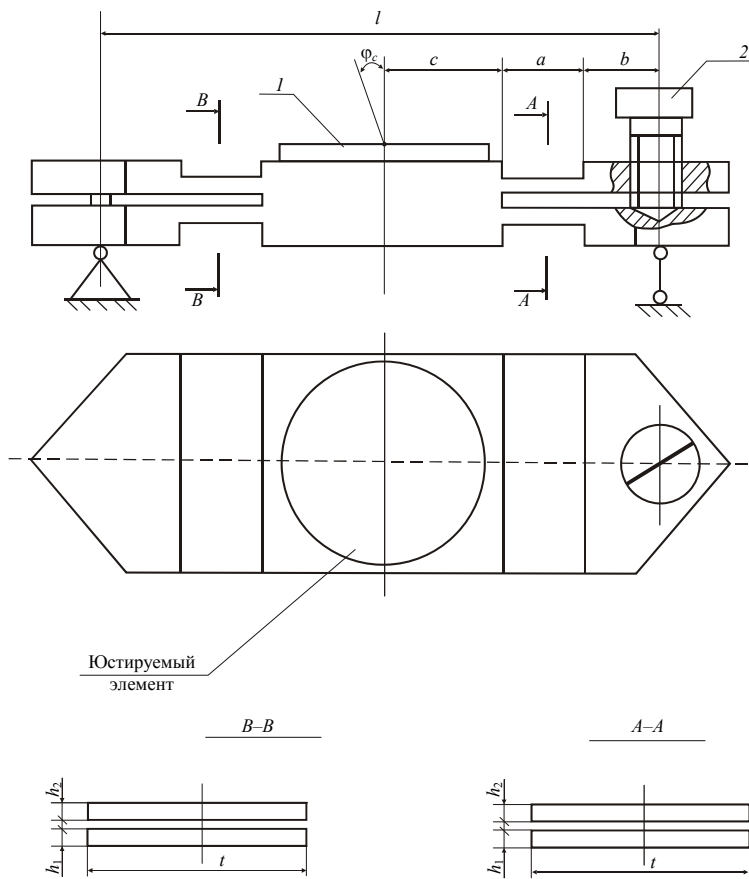


Рис. 2. Узел 2

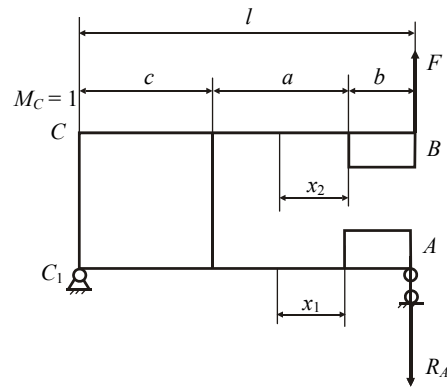


Рис. 3. Расчетная схема узла 1

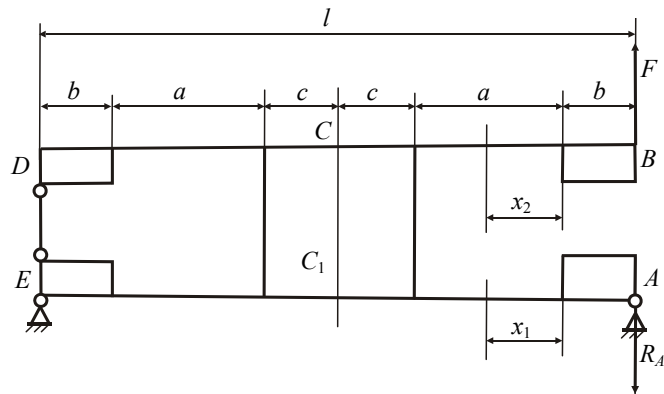


Рис. 4. Расчетная схема узла 2

При $2(a + b + c) = l$ и с учетом (8) и (9) получим

$$\varphi_C = \frac{h_2^3}{h_1^3 + h_2^3} \frac{S \cdot n}{l}. \quad (12)$$

Формула (12) оказалась такой же, что и (10). Это говорит, во-первых, о том, что угол разворота зеркала обратно пропорционален длине узла l , а во-вторых, о том, что при шарнирном закреплении опоры E горизонтальный разрез со стороны этой опоры значения не имеет. Не имеет значения и шарнир DE .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лазерные геодезические приборы* в строительстве / В.В. Грузинов, В.И. Иванищев, В.А. Коугия [и др.]. – М. : Недра, 1977. – 165 с.
2. *Лазеры в строительстве* / В.Д. Большаков, В.Е. Новак, В.С. Сытник [и др.]. – М. : Знание, 1981. – 48 с.
3. *Александров, А.В.* Сопротивление материалов / А.В. Александров. – М. : Высшая школа, 2009. – 560 с.

4. *Основы теории упругости* / В.Н. Барашков, И.Ю. Смолина, Л.Е. Путьева, Д.Н. Песцов. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2012. – 184 с.
5. *Максак, В.И.* Расчет тонкостенной балки-кронштейна открытого профиля / В.И. Максак, Т.В. Максак // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 2. – С. 91–100.
6. *Самсонова, Р.И.* Расчет статически неопределимых систем методом сил / Р.И. Самсонова, Б.А. Тухфатуллин. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2004. – 34 с.

REFERENCES

1. *Gruzinov V.V., Ivanishchev V.I., Kougiya V.A., et al.* Lazernye geodezicheskie pribory v stroitel'stve [Laser field instruments in construction]. Moscow : Nedra Publ., 1977. 165 p. (rus)
2. *Bol'shakov V.D., Novak V.E., Sytnik V.S., et al.* Lazery v stroitel'stve [Lasers in construction]. Moscow : Znanie Publ., 1981. 48 p. (rus)
3. *Aleksandrov A.V.* Soprotivlenie materialov [Strength of materials]. Moscow : Vysshaya Shkola Publ., 2009. 560 p. (rus)
4. *Barashkov V.N., Smolina I.Yu., Puteeva L.E., Pestsov D.N.* Osnovy teorii uprugosti [Principles of elasticity theory]. Tomsk : TSUAB Publ., 2012. 184 p. (rus)
5. *Maksak V.I., Maksak T.V.* Raschet tonkostennoi balki-kronshteina otkrytogo profilya [Open-section thin-web beam analysis]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2012. No. 2. Pp. 91–100. (rus)
6. *Samsonova R.I., Tuxhfatullin B.A.* Raschet staticheski neopredelimykh sistem metodom sil : metodicheskie ukazaniya [Analysis of statically indeterminate system using force method]. Tomsk : TSUAB Publ., 2004. 34 p. (rus)