

**БИОМЕХАНИКА МНОГООПОРНОГО ПРОТЕЗА**

**Крушевский А.Е.**

**Переход ко многим опорам**

При наличии многих опор должны учитываться реакции  $R_i$  всех опор. Это означает, что к уравнениям моментов добавляются слагаемые учитывающие моменты сил реакций в каждой опоре. В связи с вышесказанным уравнения равновесия многоопорного мостовидного протеза записываются в виде:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n R_{ix} &= \sum_{i=1}^n (c_{ix}u_i + c_{ixy}v_i + c_{ixz}w_i + c_{ix\varphi}\varphi_x) = P_x; \\ \sum_{i=1}^n R_{iy} &= \sum_{i=1}^n (c_{iy}u_i + c_{iyv}v_i + c_{iyz}w_i + c_{iy\varphi}\varphi_y) = P_y; \\ \sum_{i=1}^n R_{iz} &= \sum_{i=1}^n (c_{iz}u_i + c_{izv}v_i + c_{izw}w_i + c_{iz\varphi}\varphi_z) = P_z; \\ \sum_{i=1}^n m_{ix} &= \sum_{i=1}^n [c_{ix\varphi}u_i + \mu_{ix}\varphi_x + \mu_{ixy}\varphi_y + \mu_{ixz}\varphi_z + (y_{ic} - y_c)R_{iz} - (z_{ib} - z_b)R_{iy}] = m_x = \\ &= \sum_{k=1}^m [(y_k - y_c)P_{kx} - (z_k - z_b)P_{ky}]; \\ \sum_{i=1}^n m_{iy} &= \sum_{i=1}^n [c_{iy\varphi}v_i + \mu_{iy}\varphi_x + \mu_{iyv}\varphi_y + \mu_{iyz}\varphi_z + (z_{ia} - z_a)R_{ix} - (x_{ic} - x_c)R_{iz}] = m_y = \\ &= \sum_{k=1}^m [(z_k - z_a)P_{kx} - (x_k - x_c)P_{kz}]; \\ \sum_{i=1}^n m_{iz} &= \sum_{i=1}^n [c_{iz\varphi}w_i + \mu_{iz}\varphi_x + \mu_{izv}\varphi_y + \mu_{izw}\varphi_z + (x_{ib} - x_b)R_{iy} - (y_{ia} - y_a)R_{ix}] = m_z = \\ &= \sum_{k=1}^m [(x_k - x_b)P_{ky} - (y_k - y_a)P_{kx}], \end{aligned}$$

где  $n$  – число опор,  $m$  – число внешних сил;

$P_{kx}, P_{ky}, P_{kz}$  – проекции внешних сил;

$R_{ix}, R_{iy}, R_{iz}$  – проекции сил реакций в  $i$ -й опоре;

$x_{ib}, x_{ic}, y_{ia}, y_{ic}, z_{ia}, z_{ib}$  – координаты центров сопротивления в  $i$ -й опоре;

$x_b, x_c, y_a, y_c, z_a, z_b$  – координаты центров сопротивления протеза;

$u_i, v_i, w_i$  – поступательные перемещения  $i$ -й опоры. Остальные коэффициенты уравнений представляют собой соответствующие жёсткости  $i$ -й опоры, причём в формулах для этих жёсткостей входят координаты центров сопротивления  $i$ -й опоры.

Зная закон изменения перемещений

$$\begin{aligned} u_i &= u_0 + (z_{ia} - z_a)\varphi_y - (y_{ia} - y_a)\varphi_z, \\ v_i &= v_0 + (x_{ib} - x_b)\varphi_z - (z_{ib} - z_b)\varphi_x, \\ w_i &= w_0 + (y_{ic} - y_c)\varphi_x - (x_{ic} - x_c)\varphi_y, \end{aligned}$$

где  $u_0, v_0, w_0$

поступательные перемещения протеза, можно вычислить реакции каждой опоры.

Так, проекции сил реакций опор равны

$$R_{ix} = c_{ix}u_0 + c_{ixy}v_0 + c_{ixz}w_0 + [c_{ix\varphi} + c_{ixz}(y_{ic} - y_c) - c_{ixy}(z_{ib} - z_b)]\varphi_x + [c_{ix}(z_{ia} - z_a) - c_{ixz}(x_{ic} - x_c)]\varphi_y + [c_{ixy}(x_{ib} - x_b) - c_{ix}(y_{ia} - y_a)]\varphi_z;$$

$$R_{iy} = c_{ixy}u_0 + c_{iy}v_0 + c_{iyz}w_0 + [c_{iyz}(y_{ic} - y_c) - c_{iy}(z_{ib} - z_b)]\varphi_x + [c_{iy\varphi} + c_{ixy}(z_{ia} - z_a) - c_{iyz}(x_{ic} - x_c)]\varphi_y + [c_{iy}(x_{ib} - x_b) - c_{ixy}(y_{ia} - y_a)]\varphi_z;$$

$$R_{iz} = c_{ixz}u_0 + c_{iyz}v_0 + c_{iz}w_0 + [c_{iz}(y_{ic} - y_c) - c_{iyz}(z_{ib} - z_b)]\varphi_x + [c_{ixz}(z_{ia} - z_a) - c_{iz}(x_{ic} - x_c)]\varphi_y + [c_{iz\varphi} + c_{iyz}(x_{ib} - x_b) - c_{ixz}(y_{ia} - y_a)]\varphi_z$$

Моменты реакций опор относительно осей координат  $x, y, z$  равны (ось  $x$  проходит через точку  $y_c, z_b$ , ось  $y$  — через точку  $x_c, z_a$ , ось  $z$  через точку  $x_b, y_a$ ).

$$m_{ix} = [c_{ix\varphi} + c_{ixz}(y_{ic} - y_c) - c_{ixy}(z_{ib} - z_b)]u_0 + \{\mu_{ix} + (y_{ic} - y_c)[c_{iz}(y_{ic} - y_c) - c_{iyz}(z_{ib} - z_b)] - (z_{ib} - z_b)[c_{iyz}(y_{ic} - y_c) - c_{iy}(z_{ib} - z_b)]\}\varphi_x + \{\mu_{ixy} + c_{ix\varphi}(z_{ia} - z_a) - c_{iy\varphi}(z_{ib} - z_b) + (y_{ic} - y_c) \times [c_{ixz}(z_{ia} - z_a) - c_{iz}(x_{ic} - x_c)] - (z_{ib} - z_b)[c_{ixy}(z_{ia} - z_a) - c_{iyz}(x_{ic} - x_c)]\}\varphi_y + \{\mu_{ixz} - c_{ix\varphi}(y_{ia} - y_a) + c_{iz\varphi}(y_{ic} - y_c) + (y_{ic} - y_c)[c_{iyz}(x_{ib} - x_b) - c_{ixz}(y_{ia} - y_a)] - (z_{ib} - z_b) \times [c_{iy}(x_{ib} - x_b) - c_{ixy}(y_{ia} - y_a)]\}\varphi_z + v_0[c_{iyz}(y_{ic} - y_c) - (z_{ib} - z_b)c_{iy}] + w_0[c_{iz}(y_{ic} - y_c) - c_{iyz}(z_{ib} - z_b)];$$

$$m_{iy} = u_0[c_{ix}(z_{ia} - z_a) - c_{ixz}(x_{ic} - x_c)] + v_0[c_{iy\varphi} + c_{ixy}(z_{ia} - z_a) - c_{iyz}(x_{ic} - x_c)] + w_0[c_{ixz}(z_{ia} - z_a) - c_{iz}(x_{ic} - x_c)] + \varphi_x\{[c_{ix\varphi} + c_{ixz}(y_{ic} - y_c) - c_{ixy}(z_{ib} - z_b)] - (x_{ic} - x_c)[c_{iz}(y_{ic} - y_c) - c_{iyz}(z_{ib} - z_b)] - c_{iy\varphi}(z_{ib} - z_b) + \mu_{iy}\} + \varphi_y\{\mu_{iy} + (z_{ia} - z_a)[c_{ix}(z_{ia} - z_a) - c_{ixz}(x_{ic} - x_c)] - (x_{ic} - x_c)[c_{ixz}(z_{ia} - z_a) - c_{iz}(x_{ic} - x_c)]\} + \varphi_z\{c_{iy\varphi}(x_{ib} - x_b) + (z_{ia} - z_a)[c_{ixy}(x_{ib} - x_b) - c_{ix}(y_{ia} - y_a) - (x_{ic} - x_c)[c_{iyz}(x_{ib} - x_b) - c_{ixz}(y_{ia} - y_a) + c_{iz\varphi}]\};$$

$$m_{iz} = u_0[c_{ixy}(x_{ib} - x_b) - c_{ix}(y_{ia} - y_a)] + v_0[c_{iy}(x_{ib} - x_b) - c_{ixy}(y_{ia} - y_a)] + w_0[c_{iyz}(x_{ib} - x_b) - c_{ixz} \times (y_{ia} - y_a)] + \varphi_x\{c_{iz\varphi}(y_{ic} - y_c) + (x_{ib} - x_b)[c_{iyz}(y_{ic} - y_c) - c_{iy}(z_{ib} - z_b)] - (y_{ia} - y_a) \times [c_{ixz}(y_{ic} - y_c) - c_{ixy}(z_{ib} - z_b) + c_{ix\varphi}]\} + \varphi_y\{-c_{iz\varphi}(x_{ic} - x_c) + (x_{ib} - x_b)[c_{ixy}(z_{ia} - z_a) - c_{iyz}(x_{ic} - x_c) + c_{iy\varphi}] - (y_{ia} - y_a)[c_{ix}(z_{ia} - z_a) - c_{ixz}(x_{ic} - x_c)]\} + \varphi_z\{(x_{ib} - x_b)[c_{iy}(x_{ib} - x_b) - c_{ixy}(y_{ia} - y_a)] - (y_{ia} - y_a)[c_{ixy}(x_{ib} - x_b) - c_{ix}(y_{ia} - y_a)]\}.$$

В вышеприведенных уравнениях равновесия входят суммы реакций и суммы моментов. Эти суммы можно значительно упростить, если ввести понятие центров сопротивления многоопорного протеза.

### Определение координат центра сопротивления многоопорного мостовидного протеза

Для того, чтобы определить координаты центра сопротивления многоопорного мостовидного протеза выписываем формулы.

$$\sum_{i=1}^n R_{ix}, \quad \sum_{i=1}^n R_{iy}, \quad \sum_{i=1}^n R_{iz} \text{ и обращаем в нуль}$$

$$\text{суммы} \quad \sum_{i=1}^n [c_{ix}(z_{ia} - z_a) - c_{ixz}(x_{ic} - x_c)] = 0, \sum_{i=1}^n [c_{ixy}(x_{ib} - x_b) - c_{ix}(y_{ia} - y_a)] = 0$$

при  $\varphi_y$  и  $\varphi_z$  в выражении  $\sum_{n=1}^n R_{ix}$ ,

$$\text{суммы} \quad \sum_{i=1}^n [c_{iyz}(y_{ic} - y_c) - c_{iy}(z_{ib} - z_b)] = 0, \sum_{i=1}^n [c_{iy}(x_{ib} - x_b) - c_{ixy}(y_{ia} - y_a)] = 0$$

при  $\varphi_x, \varphi_z$  в выражении  $\sum_{n=1}^n R_{iy}$ ,

$$\text{суммы} \quad \sum_{i=1}^n [c_{iz}(y_{ic} - y_c) - c_{iyz}(z_{ib} - z_b)] = 0, \sum_{i=1}^n [c_{ixz}(z_{ia} - z_a) - c_{iz}(x_{ic} - x_c)] = 0$$

при  $\varphi_x$  и  $\varphi_y$  в выражении  $\sum_{n=1}^n R_{iz}$ ,

Решая полученные уравнения относительно  $x_b, x_c, y_a, y_c, z_a, z_b$ , находим

$$x_b = \frac{\sum_{i=1}^n c_{ixy} \sum_{i=1}^n (c_{ix} y_{ia} - c_{ixy} x_{ib}) - \sum_{i=1}^n c_{ix} \sum_{i=1}^n (c_{ixy} y_{ia} - c_{iy} x_{ib})}{\sum_{i=1}^n c_{ix} \sum_{i=1}^n c_{iy} - (\sum_{i=1}^n c_{ixy})^2},$$

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n c_{ix} \sum_{i=1}^n (c_{iz} x_{ic} - c_{ixz} z_{ia}) - \sum_{i=1}^n c_{ixz} \sum_{i=1}^n (c_{ixz} x_{ic} - c_{ix} z_{ia})}{\sum_{i=1}^n c_{ix} \sum_{i=1}^n c_{iz} - (\sum_{i=1}^n c_{ixz})^2},$$

$$y_a = \frac{\sum_{i=1}^n c_{iy} \sum_{i=1}^n (c_{ix} y_{ia} - c_{ixy} x_{ib}) - \sum_{i=1}^n c_{ixy} \sum_{i=1}^n (c_{ixy} y_{ia} - c_{iy} x_{ib})}{\sum_{i=1}^n c_{ix} \sum_{i=1}^n c_{iy} - (\sum_{i=1}^n c_{ixy})^2},$$

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n c_{iyz} \sum_{i=1}^n (c_{iy} z_{ib} - c_{iyz} y_{ic}) - \sum_{i=1}^n c_{iy} \sum_{i=1}^n (c_{iyz} z_{ib} - c_{iz} y_{ic})}{\sum_{i=1}^n c_{iy} \sum_{i=1}^n c_{iz} - (\sum_{i=1}^n c_{iyz})^2},$$

$$z_a = \frac{\sum_{i=1}^n c_{ixz} \sum_{i=1}^n (c_{iz} x_{ic} - c_{ixz} z_{ia}) - \sum_{i=1}^n c_{iz} \sum_{i=1}^n (c_{ixz} x_{ic} - c_{ix} z_{ia})}{\sum_{i=1}^n c_{ix} \sum_{i=1}^n c_{iz} - (\sum_{i=1}^n c_{ixz})^2},$$

$$z_b = \frac{\sum_{i=1}^n c_{iz} \sum_{i=1}^n (c_{iy} z_{ib} - c_{iyz} y_{ic}) - \sum_{i=1}^n c_{iyz} \sum_{i=1}^n (c_{iyz} z_{ib} - c_{iz} y_{ic})}{\sum_{i=1}^n c_{iy} \sum_{i=1}^n c_{iz} - (\sum_{i=1}^n c_{iyz})^2}.$$

Как видим, на основании полученных формул, для определения координат центра сопротивления многоопорного мостовидного протеза необходимо сначала найти жесткости и координаты центров сопротивления всех опорных корней.

### Упрощение формул для суммарных усилий и моментов реакций в опорах многоопорного протеза

Введение центров сопротивления протеза позволяет значительно упростить формулы для суммарных усилий и моментов относительно осей координат и тем самым упростить систему уравнений равновесия многоопорного протеза.

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n R_{ix} &= \sum_{i=1}^n \{c_{ix}u_0 + c_{ixy}v_0 + c_{ixz}w_0 + \varphi_x [c_{ix\varphi} - c_{ixy}(z_{ib} - z_b) + c_{ixz}(y_{ic} - y_c)]\}, \\
\sum_{i=1}^n R_{iy} &= \sum_{i=1}^n \{c_{ixy}u_0 + c_{iy}v_0 + c_{iyz}w_0 + \varphi_y [c_{iy\varphi} - c_{iyz}(x_{ic} - x_c) + c_{ixy}(z_{ia} - z_a)]\}, \\
\sum_{i=1}^n R_{iz} &= \sum_{i=1}^n \{c_{ixz}u_0 + c_{iyz}v_0 + c_{iz}w_0 + \varphi_z [c_{iz\varphi} - c_{ixz}(y_{ia} - y_a) + c_{iyz}(x_{ib} - x_b)]\}, \\
\sum_{i=1}^n m_{ix} &= \sum_{i=1}^n \{\varphi_x [y_{ic}c_{iz}(y_{ic} - y_c) - c_{iyz}(z_{ib} - z_b)y_{ic} - z_{ib}c_{iyz}(y_{ic} - y_c) + z_{ib}c_{iy}(z_{ib} - z_b) + \mu_{ix}] + \\
&+ \varphi_y [y_{ic}c_{ixz}(z_{ia} - z_a) - y_{ic}c_{iz}(x_{ic} - x_c) - c_{ixy}(z_{ia} - z_a)(z_{ib} - z_b) + c_{iyz}(x_{ic} - x_c)(z_{ib} - z_b) - \\
&- c_{iy\varphi}(z_{ib} - z_b) + c_{ix\varphi}(z_{ia} - z_a) + \mu_{ixy}] + \varphi_z [c_{iyz}(x_{ib} - x_b)(y_{ic} - y_c) - c_{ixz}(y_{ia} - y_a)(y_{ic} - y_c) - \\
&- c_{iy}z_{ib}(x_{ib} - x_b) + c_{ixy}z_{ib}(y_{ia} - y_a) + c_{iz\varphi}(y_{ic} - y_c) - c_{ix\varphi}(y_{ia} - y_a) + \mu_{ixz}] + \\
&+ u_0 [c_{ix\varphi} + c_{ixz}(y_{ic} - y_c) - c_{ixy}(z_{ib} - z_b)]\}, \\
\sum_{i=1}^n m_{iy} &= \sum_{i=1}^n \{\varphi_x [c_{ix\varphi}(z_{ia} - z_a) - c_{iy\varphi}(z_{ib} - z_b) + c_{ixz}(y_{ic} - y_c)(z_{ia} - z_a) - c_{iz}x_{ic}(y_{ic} - y_c) + \\
&+ c_{iyz}x_{ic}(z_{ib} - z_b) - c_{ixy}(z_{ia} - z_a)(z_{ib} - z_b) + \mu_{ixy}] + \varphi_y [\mu_{iy} + (z_{ia} - z_a)(c_{ix}z_{ia} - c_{ixz}x_{ic}) + \\
&+ (x_{ic} - x_c)(c_{iz}x_{ic} - c_{ixz}z_{ia})] + \varphi_z [\mu_{iyz} + c_{iy\varphi}(x_{ib} - x_b) - c_{iz\varphi}(x_{ic} - x_c) - (x_{ic} - x_c)(x_{ib} - x_b)c_{iyz} + \\
&+ c_{ixz}(x_{ic} - x_c)(y_{ia} - y_a) + (x_{ib} - x_b)c_{ixy}z_{ia} - (y_{ia} - y_a)c_{ix}z_{ia}] + v_0 [c_{iy\varphi} + c_{izy}(z_{ib} - z_b) - c_{iyz}(x_{ic} - x_c)]\}, \\
\sum_{i=1}^n m_{iz} &= \sum_{i=1}^n \{\varphi_x [c_{ix\varphi}(y_{ic} - y_c) - c_{ix\varphi}(y_{ia} - y_a) + c_{iyz}(y_{ic} - y_c)(x_{ib} - x_b) - c_{iy}(x_{ib} - x_b)(z_{ib} - z_b) - \\
&- c_{ixz}(y_{ia} - y_a)(y_{ic} - y_c) + c_{ixy}(y_{ia} - y_a)(z_{ib} - z_b) + \mu_{ixz}] + \varphi_y [\mu_{iyz} - c_{iz\varphi}(x_{ic} - x_c) + c_{iy\varphi}(x_{ib} - x_b) + \\
&+ c_{ixy}(x_{ib} - x_b)(z_{ia} - z_a) - c_{iyz}(x_{ic} - x_c)(x_{ib} - x_b) - c_{ix}(y_{ia} - y_a)(z_{ia} - z_a) + c_{ixz}(x_{ic} - x_c)(y_{ia} - y_a)] + \\
&+ \varphi_z [\mu_{iz} + (x_{ib} - x_b)[c_{iy}(x_{ib} - x_b) - c_{ixy}(y_{ia} - y_a)] - (y_{ia} - y_a)[c_{ixy}(x_{ib} - x_b) - c_{ix}(y_{ia} - y_a)]] + \\
&+ w_0 [c_{iz\varphi} + c_{iyz}(x_{ib} - x_b) - c_{ixz}(y_{ia} - y_a)]\}.
\end{aligned}$$

Уравнение равновесия многоопорного протеза записываются в таком же виде, как и для одноопорного, но с некоторой корректировкой коэффициентов, а именно:

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n (c_{ix}u_0 + c_{ixy}v_0 + c_{ixz}w_0 + c_{ix\varphi}^* \varphi_x) &= P_x, \\
\sum_{i=1}^n (c_{ixy}u_0 + c_{iy}v_0 + c_{iyz}w_0 + c_{iy\varphi}^* \varphi_y) &= P_y, \\
\sum_{i=1}^n (c_{ixz}u_0 + c_{iyz}v_0 + c_{iz}w_0 + c_{iz\varphi}^* \varphi_z) &= P_z, \\
\sum_{i=1}^n (\mu_{ix}^* \varphi_x + \mu_{ixy}^* \varphi_y + \mu_{ixz}^* \varphi_z + c_{ix\varphi}^* u_0) &= m_x, \\
\sum_{i=1}^n (\mu_{ixy}^* \varphi_x + \mu_{iy}^* \varphi_y + \mu_{iyz}^* \varphi_z + c_{iy\varphi}^* v_0) &= m_y, \\
\sum_{i=1}^n (\mu_{ixz}^* \varphi_x + \mu_{iyz}^* \varphi_y + \mu_{iz}^* \varphi_z + c_{iz\varphi}^* w_0) &= m_z,
\end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
c_{ix\varphi}^* &= c_{ix\varphi} + c_{ixz}(y_{ic} - y_c) - c_{ixy}(z_{ib} - z_b), \\
c_{iy\varphi}^* &= c_{iy\varphi} + c_{ixy}(z_{ia} - z_a) - c_{iyz}(x_{ic} - x_c), \\
c_{iz\varphi}^* &= c_{iz\varphi} + c_{iyz}(x_{ib} - x_b) - c_{ixz}(y_{ia} - y_a), \\
\mu_{ix}^* &= \mu_{ix} + y_{ic}[c_{iz}(y_{ic} - y_c) - c_{iyz}(z_{ib} - z_b)] - z_{ib}[c_{iyz}(y_{ic} - y_c) - c_{iy}(z_{ib} - z_b)] \\
\mu_{iy}^* &= \mu_{iy} + (z_{ia} - z_a)(c_{ix}z_{ia} - c_{ixz}x_{ic}) + (x_{ic} - x_c)(c_{iz}x_{ic} - c_{ixz}z_{ia}) \\
\mu_{iz}^* &= \mu_{iz} + x_{ib}[c_{iy}(x_{ib} - x_b) - c_{ixy}(y_{ia} - y_a)] - y_{ia}[c_{ixy}(x_{ib} - x_b) - c_{ix}(y_{ia} - y_a)] \\
\mu_{ixy}^* &= \mu_{ixy} + c_{ix\varphi}(z_{ia} - z_a) - c_{iy\varphi}(z_{ib} - z_b) + y_{ic}[c_{xiz}(z_{ia} - z_a) - c_{iz}(x_{ic} - x_c)] - \\
&\quad - (z_{ib} - z_b)[c_{ixy}(z_{ia} - z_a) - c_{iyz}(x_{ic} - x_c)], \\
\mu_{ixz}^* &= \mu_{ixz} - c_{ix\varphi}(y_{ia} - y_a) + (y_{ic} - y_c)c_{iz\varphi} + (y_{ic} - y_c)[c_{iyz}(x_{ib} - x_b) - c_{ixz}(y_{ia} - y_a)] - \\
&\quad - z_{ib}[c_{iy}(x_{ib} - x_b) - c_{ixy}(y_{ic} - y_c)], \\
\mu_{iyz}^* &= \mu_{iyz} + c_{iy\varphi}(x_{ib} - x_b) - (x_{ic} - x_c)c_{iz\varphi} + (x_{ib} - x_b)[c_{ixy}z_{ia} - c_{iyz}(x_{ic} - x_c)] - \\
&\quad - (y_{ia} - y_a)[c_{ix}z_{ia} - c_{ixz}(x_{ic} - x_c)].
\end{aligned}$$

Уравнения, как следовало ожидать, обладают симметрией, т.е. матрица жесткостей является симметричной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Крушевский, А. Е. Решение задачи о равновесии периодонта, ограниченного двумя эллиптическими двуполостными гиперboloидами // Теоретическая и прикладная механика. – Минск: Вышэйшая школа, 1983. – Вып. 10. – С. 11–21.
2. Наумович, С.А., Крушевский, А. Е. Биомеханика системы зуб-периодонт. – Минск: Экономические технологии, 2000. – 168 с.
3. Крушевский, А. Е., Наумович, С.С. Основы биомеханики мостовидных протезов // Теоретическая и прикладная механика. – Минск: Технопринт, 2006. – Вып. 20. – С. 134–139.