ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ

Մեխանիկա 73, №2, 2020 Механика

УДК 539.3 Doi- http://doi.org/10.33018/73.2.5

АСИМПТОТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ОДНОЙ СМЕШАННОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ АНИЗОТРОПНОЙ ДВУХСЛОЙНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Хачатрян А.М., Петросян Г.А.

Ключевые слова: асимптотический метод, анизотропная двухслойная цилиндрическая оболочка, смешанные условия, внутренняя задача.

Khachatryan A.M., Petrosyan G.A.
Asymptotic solution of one mixed boundary value problem
two-layera anisotropic cylindrical shell

Key words: asymptotic method, two-layer anisotropic cylindrical shell, mixed conditions, interior problem.

The question of determining the stress-strain state in a three-dimensional problem for an anisotropic two-layer cylindrical shell, on the outer surface of which the values of normal stress and tangential displacements are specified, and on the inner surface – values of normal displacement and tangential stresses is discussed. Using the asymptotic method, the solution of the internal problem is constructed.

Խաչատրյան Ա.Մ., Պետրոսյան Գ.Ա.
Երկշերտ անիզոտրոպ գլանային թաղանթի մի խառը եզրային
խնդրի ասիմպտոտիկ լուծումը

Հիմնաբառեր. ասիմպտոտիկ մեթոդ, երկշերտ անիզոտրոպ գլանային թաղանթ, խառը եզրային պայմաններ, ներքին խնդիր:

Ասիմպտոտիկ մեթոդով առաձգականության տեսության եռաչափ հավասարումներից դուրս են բերված մասնական ածանցյալներով երկչափ դիֆերենցիալ հավասարումներ երկշերտ անիզոտրոպ գլանային թաղանթի հաշվարկման համար, շերտերի միջև լրիվ կոնտակտի դեպքում: Գլանիա րտաքին մակերևույթի վրա տրված են նորմալ լարման և տանգենցիալ տեղափոխությունների, իսկ ներքին մակերևույթի վրա՝ նորմալ տեղափոխության և տանգենցիալ լարմումների արժեքները:

Обсуждается вопрос определения напряжённо-деформированного состояния в трёхмерной задаче для анизотропной двухслойной цилиндрической оболочки, изготовленной из материалов, обладающих свойством общей анизотропии. Предполагается, что на внешней поверхности оболочки заданы значения нормального напряжения и тангенциальных перемещений, на внутренней поверхности – значения нормального перемещения и тангенциальных напряжений, на поверхности контакта – условия полного контакта. Асимптотическим методом построен итерационный процесс, позволяющий определить внутреннее напряжённо-деформированное состояние двухслойной анизотропной цилиндрической оболочки с заранее заданной асимптотической точностью. Рассмотрены конкретные примеры.

Введение. Теория анизотропных слоистых оболочек на основе гипотезы Кирхгоффа-Лява для пакета в целом, а также уточнённые теории анизотропных слоистых пластин и оболочек построены и развиты в известных монографиях С.А. Амбарцумяна [1,2]. Асимптотический метод определения напряжённо-деформированного состояния произвольной изотропной оболочки разработан А.Л. Гольденвейзером [3,4]. Л.А. Агаловян распространил асимптотический метод на анизотропные пластинки и оболочки, выявив характерные особенности, связанные с анизотропией. На основе уравнений теории упругости, асимптотическим методом, классические и некоторые классы неклассических краевых задач для тонких тел рассмотрены в монографиях [5,6]. Вопрос определения напряжённо-деформированного состояния цилиндрической оболочки с общей анизотропией рассмотрен в работе [7]. На основе асимптотического метода построены итерационные процессы, описывающие возможные напряжённые состояния в первой краевой задаче для цилиндрической оболочки. Вопрос определения напряжённо-деформированного состояния в трёхмерной задаче для анизотропной цилиндрической оболочки, на внешней и внутренней поверхностях которой заданы смешанные краевые условия теории упругости, обсуждён в работе [8]. Та же задача для анизотропной пластинки, на лицевых плоскостях которой заданы смешанные краевые условия теории упругости, обсуждена в работе [9]. В этих работах с применением асимптотического метода построены решения внутренней задачи.

1. Постановка задачи и основные соотношения. Рассматривается трёхмерная задача теории упругости для анизотропной двухслойной цилиндрической оболочки длиной L, толщиной $2h$ и радиусом соприкосновения слоёв R. Воспользуемся цилиндрической системой координат r, θ, x, при этом, $x \in [0; L]$, $r \in [R-h_2; R+h_1], \theta \in [0; \Theta]$. Материалы оболочки обладают цилиндрической анизотропией общего вида, а ось анизотропии совпадает с осью цилиндра. Величины, относящиеся к верхнему слою, отметим индексом (1), а к нижнему слою – индексом (2). Предполагается, что толщины и коэффициенты упругости слоёв разные и равны, соответственно, h_k и $a_{ij}^{(k)}$, k – номер слоя. Здесь и в последующем, $k = 1, 2$. На внешней и внутренней поверхностях оболочки заданы следующие условия теории упругости:

$$
\begin{aligned}
&u_x^{(1)} = u_x^+,\ u_\theta^{(1)} = u_\theta^+,\ \sigma_r^{(1)} = \varepsilon^{-1}\sigma_r^+ \quad \text{при } r = R + h_1, \\
&\sigma_{rx}^{(2)} = \varepsilon^{-1}\sigma_{rx}^-,\ \sigma_{r\theta}^{(2)} = \varepsilon^{-1}\sigma_{r\theta}^-,\ u_r^{(2)} = u_r^- \quad \text{при } r = R - h_2,
\end{aligned}
\tag{1.1}
$$

а на торцах $x = 0, L$ и краях $\theta = 0, \Theta$ $\left(0 < \Theta \le 2\pi\right)$ могут быть заданы произвольные краевые условия. При $\Theta = 2\pi$ имеем замкнутую цилиндрическую оболочку и вместо краевых условий при $\theta = 0, \Theta$ необходимо задать условие периодичности напряжений и перемещений, то есть $Q^{(k)}\left(r, \theta + 2\pi\right) = Q^{(k)}\left(r, \theta\right)$, где $Q^{(k)}$ – любое из напряжений и перемещений.

Между слоями при $r = R$ выполняется условие полного контакта:

$$
u_r^{(1)} = u_r^{(2)}, u_x^{(1)} = u_x^{(2)}, u_\theta^{(1)} = u_\theta^{(2)},\ \sigma_r^{(1)} = \sigma_r^{(2)}, \sigma_{rx}^{(1)} = \sigma_{rx}^{(2)}, \sigma_{r\theta}^{(1)} = \sigma_{r\theta}^{(2)} \tag{1.2}
$$

Для определения напряжённо-деформированного состояния цилиндрической оболочки будем исходить из трёхмерных уравнений теории упругости в цилиндрических координатах, в которые вводятся безразмерные координаты по формулам [2,5]

$$
\xi = \frac{x}{\sqrt{Rh}},\ \zeta = \frac{r-R}{h},\ \varphi = \theta\sqrt{\frac{R}{h}} \tag{1.3}
$$

и безразмерные перемещения $U_r^{(k)} = u_r^{(k)} \big/ R, U_\theta^{(k)} = u_\theta^{(k)} \big/ R, U_x^{(k)} = u_x^{(k)} \big/ R,$ в результате чего уравнения теории упругости будут содержать малый геометрический параметр $\varepsilon = \sqrt{h/R}$, где $2h = h_1 + h_2$.

Решение данной задачи складывается из решения внутренней задачи и решения типа пограничного слоя. Для решения внутренней задачи используется асимптотический метод интегрирования и все напряжения и перемещения представляются в виде суммы по степеням малого параметра [3-8]

$$Q^{(k)} = \varepsilon^{-q_k} \sum_{s=0}^{S} \varepsilon^s Q^{(k,s)} \tag{1.4}$$

Целые числа q_k подбирается так, чтобы после подстановки (1.4) в преобразованные уравнения теории упругости получить рекуррентную систему относительно искомых величин. В рассматриваемой задаче эта цель достигается при [5,6]

$$q_k = 1 \text{ для } \sigma_r^{(k)}, \sigma_\theta^{(k)}, \sigma_x^{(k)}, \sigma_{\theta x}^{(k)}, \sigma_{rx}^{(k)}, \sigma_{r\theta}^{(k)}, \quad q_k = 0 \text{ для } U_r^{(k)}, U_\theta^{(k)}, U_x^{(k)}. \tag{1.5}$$

Подставляя (1.4) в преобразованные уравнения теории упругости, с учёом (1.5), получим следующую систему (здесь и в последующем, для удобства записи, запятыми выделены частные производные):

$$\begin{aligned}
&\sigma_{r,\zeta}^{(k,s)} + \zeta\sigma_{r,\zeta}^{(k,s-2)} + \sigma_{r\theta,\varphi}^{(k,s-1)} + \zeta\sigma_{rx,\xi}^{(k,s-3)} + \sigma_{rx,\xi}^{(k,s-1)} + \sigma_r^{(k,s-2)} - \sigma_\theta^{(k,s-2)} = 0, \\
&\sigma_{r\theta,\zeta}^{(k,s)} + \zeta\sigma_{r\theta,\zeta}^{(k,s-2)} + \sigma_{\theta,\varphi}^{(k,s-1)} + \zeta\sigma_{x\theta,\xi}^{(k,s-3)} + \sigma_{x\theta,\xi}^{(k,s-1)} + 2\sigma_{r\theta}^{(k,s-2)} = 0, \\
&\sigma_{rx,\zeta}^{(k,s)} + \zeta\sigma_{rx,\zeta}^{(k,s-2)} + \sigma_{x\theta,\varphi}^{(k,s-1)} + \zeta\sigma_{x,\xi}^{(k,s-3)} + \sigma_{x,\xi}^{(k,s-1)} + \sigma_{rx}^{(k,s-2)} = 0, \qquad (1.6)\\
&U_{x,\xi}^{(k,s)} = a_{11}^{(k)}\sigma_x^{(k,s)} + a_{12}^{(k)}\sigma_\theta^{(k,s)} + a_{13}^{(k)}\sigma_r^{(k,s)} + a_{14}^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k,s)} + a_{15}^{(k)}\sigma_{rx}^{(k,s)} + a_{16}^{(k)}\sigma_{x\theta}^{(k,s)}, \\
&U_{\theta,\varphi}^{(k,s)} + U_r^{(k,s-1)} = a_{12}^{(k)}\sigma_x^{(k,s)} + a_{22}^{(k)}\sigma_\theta^{(k,s)} + a_{23}^{(k)}\sigma_r^{(k,s)} + a_{24}^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k,s)} + a_{25}^{(k)}\sigma_{rx}^{(k,s)} + \\
&\qquad + a_{26}^{(k)}\sigma_{x\theta}^{(k,s)} + \zeta\Big(a_{12}^{(k)}\sigma_x^{(k,s-2)} + a_{22}^{(k)}\sigma_\theta^{(k,s-2)} + a_{23}^{(k)}\sigma_r^{(k,s-2)} \\
&\qquad + a_{24}^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k,s-2)} + a_{25}^{(k)}\sigma_{rx}^{(k,s-2)} + a_{26}^{(k)}\sigma_{x\theta}^{(k,s-2)}\Big), \\
&U_{r,\zeta}^{(k,s)} = a_{13}^{(k)}\sigma_x^{(k,s-1)} + a_{23}^{(k)}\sigma_\theta^{(k,s-1)} + a_{33}^{(k)}\sigma_r^{(k,s-1)} + a_{34}^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k,s-1)} + a_{35}^{(k)}\sigma_{rx}^{(k,s-1)} + a_{36}^{(k)}\sigma_{x\theta}^{(k,s-1)} \\
&U_{\theta,\zeta}^{(k,s)} + U_{r,\varphi}^{(k,s-1)} + \zeta U_{\theta,\zeta}^{(k,s-2)} - U_\theta^{(k,s-2)} = \\
&\qquad = a_{14}^{(k)}\sigma_x^{(k,s)} + a_{24}^{(k)}\sigma_\theta^{(k,s)} + a_{34}^{(k)}\sigma_r^{(k,s)} + a_{44}^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k,s)} + a_{45}^{(k)}\sigma_{rx}^{(k,s)} + a_{46}^{(k)}\sigma_{x\theta}^{(k,s)} + \\
&+\zeta\Big(a_{14}^{(k)}\sigma_x^{(k,s-3)} + a_{24}^{(k)}\sigma_\theta^{(k,s-3)} + a_{34}^{(k)}\sigma_r^{(k,s-3)} + \\
&\qquad + a_{44}^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k,s-3)} + a_{45}^{(k)}\sigma_{rx}^{(k,s-3)} + a_{46}^{(k)}\sigma_{x\theta}^{(k,s-3)}\Big),
\end{aligned}$$

$$U_{x,\zeta}^{(k,s)}+U_{r,\xi}^{(k,s-1)}=a_{15}^{(k)}\sigma_x^{(k,s-1)}+a_{25}^{(k)}\sigma_\theta^{(k,s-1)}+a_{35}^{(k)}\sigma_r^{(k,s-1)}+$$
$$+a_{45}^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k,s-1)}+a_{55}^{(k)}\sigma_{rx}^{(k,s-1)}+a_{56}^{(k)}\sigma_{x\theta}^{(k,s-1)},$$
$$U_{\theta,\xi}^{(k,s)}+U_{x,\varphi}^{(k,s)}+\zeta U_{\theta,\xi}^{(k,s-2)}=a_{16}^{(k)}\sigma_x^{(k,s)}+a_{26}^{(k)}\sigma_\theta^{(k,s)}+a_{36}^{(k)}\sigma_r^{(k,s)}+a_{46}^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k,s)}+$$
$$+a_{56}^{(k)}\sigma_{rx}^{(k,s)}+a_{66}^{(k)}\sigma_{x\theta}^{(k,s)}+\zeta\Big(a_{16}^{(k)}\sigma_x^{(k,s-2)}+a_{26}^{(k)}\sigma_\theta^{(k,s-2)}+$$
$$+a_{36}^{(k)}\sigma_r^{(k,s-2)}+a_{46}^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k,s-2)}+a_{56}^{(k)}\sigma_{rx}^{(k,s-2)}+a_{66}^{(k)}\sigma_{x\theta}^{(k,s-2)}\Big)$$

Интегрируя систему (1.6) по ζ, получим:

$$\sigma_{rx}^{(k,s)}=\sigma_{rx0}^{(k,s)}+\sigma_{rx}^{*(k,s)},\ (x,\theta),\ \sigma_r^{(k,s)}=\sigma_{r0}^{(k,s)}+\sigma_r^{*(k,s)},$$
$$U_x^{(k,s)}=U_{x0}^{(k,s)}+U_x^{*(k,s)},\ (x,\theta,r), \tag{1.7}$$
$$\sigma_{x\theta}^{(k,s)}=c_3^{(k)}\sigma_{r0}^{(k,s)}+c_4^{(k)}\sigma_{r\theta0}^{(k,s)}+c_5^{(k)}\sigma_{rx0}^{(k,s)}+\tau_{x\theta0}^{(k,s)}+\sigma_{x\theta1}^{*(k,s)},$$
$$\sigma_x^{(k,s)}=a_3^{(k)}\sigma_{r0}^{(k,s)}+a_4^{(k)}\sigma_{r\theta0}^{(k,s)}+a_5^{(k)}\sigma_{rx0}^{(k,s)}+\tau_{x0}^{(k,s)}+\sigma_{x1}^{*(k,s)},\ (x,\theta;a,b;4,5),$$

где

$$\tau_{x0}^{(k,s)}=B_{11}^{(k)}\varepsilon_1^{(k,s)}+B_{12}^{(k)}\varepsilon_2^{(k,s)}+B_{16}^{(k)}\omega^{(k,s)}\qquad(x,\theta;1,2)$$
$$\tau_{\theta x0}^{(k,s)}=B_{16}^{(k)}\varepsilon_1^{(k,s)}+B_{26}^{(k)}\varepsilon_2^{(k,s)}+B_{66}^{(k)}\omega^{(k,s)} \tag{1.8}$$
$$\varepsilon_1^{(k,s)}=U_{x0,\xi}^{(k,s)},\ \varepsilon_2^{(k,s)}=U_{\theta0,\varphi}^{(k,s)},\ \omega^{(k,s)}=U_{\theta0,\xi}^{(k,s)}+U_{x0,\varphi}^{(k,s)},$$

Коэффициенты $B_{ij}^{(k)}$, $a_i^{(k)}, b_i^{(k)}$, $c_i^{(k)}$ определяются по известным формулам [1,2,7], а величины со звездочками, входящие в формулы (1.7), как обычно, известны для каждого приближения s и определяются по формулам:

$$\sigma_r^{*(k,s)}=-\int_0^\zeta\Big[\sigma_{r\theta,\varphi}^{(k,s-1)}+\sigma_{rx,\xi}^{(k,s-1)}+\sigma_r^{(k,s-2)}-\sigma_\theta^{(k,s-2)}+\zeta\Big(\sigma_{r,\zeta}^{(k,s-2)}+\sigma_{xr,\xi}^{(k,s-3)}\Big)\Big]d\zeta,$$
$$\sigma_{r\theta}^{*(k,s)}=-\int_0^\zeta\Big[\sigma_{\theta,\varphi}^{(k,s-1)}+\sigma_{x\theta,\xi}^{(k,s-1)}+2\sigma_{r\theta}^{(k,s-2)}+\zeta\Big(\sigma_{r\theta,\zeta}^{(k,s-2)}+\sigma_{x\theta,\xi}^{(k,s-3)}\Big)\Big]d\zeta,$$
$$\sigma_{rx}^{*(k,s)}=-\int_0^\zeta\Big[\sigma_{x\theta,\varphi}^{(k,s-1)}+\sigma_{x,\xi}^{(k,s-1)}+\sigma_{xr}^{(k,s-2)}+\zeta\Big(\sigma_{rx,\zeta}^{(k,s-2)}+\sigma_{x,\xi}^{(k,s-3)}\Big)\Big]d\zeta,$$
$$U_\theta^{*(k,s)}=\int_0^\zeta\Big[a_{14}^{(k)}\sigma_x^{(k,s-1)}+a_{24}^{(k)}\sigma_\theta^{(k,s-1)}+a_{34}^{(k)}\sigma_r^{(k,s-1)}+a_{44}^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k,s-1)}+a_{45}^{(k)}\sigma_{xr}^{(k,s-1)}+$$
$$+a_{46}^{(k)}\sigma_{x\theta}^{(k,s-1)}+U_\theta^{(k,s-2)}+\zeta\Big(a_{14}^{(k)}\sigma_x^{(k,s-3)}+a_{24}^{(k)}\sigma_\theta^{(k,s-3)}+a_{34}^{(k)}\sigma_r^{(k,s-3)}+$$

$$+a_{44}^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k,s-3)}+a_{45}^{(k)}\sigma_{xr}^{(k,s-3)}+a_{46}^{(k)}\sigma_{x\theta}^{(k,s-3)}+U_{\theta,\zeta}^{(k,s-2)}\Big)-U_{r,\varphi}^{(k,s-1)}\Big]d\zeta,$$

$$U_r^{*(k,s)}=\int_0^{\zeta}\Big[a_{13}^{(k)}\sigma_x^{(k,s-1)}+a_{23}^{(k)}\sigma_\theta^{(k,s-1)}+a_{33}^{(k)}\sigma_r^{(k,s-1)}+$$

$$+a_{43}^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k,s-1)}+a_{35}^{(k)}\sigma_{xr}^{(k,s-1)}+a_{36}^{(k)}\sigma_{x\theta}^{(k,s-1)}\Big]d\zeta, \tag{1.9}$$

$$U_x^{*(k,s)}=\int_0^{\zeta}\Big[a_{15}^{(k)}\sigma_x^{(k,s-1)}+a_{25}^{(k)}\sigma_\theta^{(k,s-1)}+a_{35}^{(k)}\sigma_r^{(k,s-1)}+a_{45}^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k,s-1)}+$$

$$+a_{55}^{(k)}\sigma_{xr}^{(k,s-1)}+a_{56}^{(k)}\sigma_{x\theta}^{(k,s-1)}-U_{r,\xi}^{(k,s-1)}\Big]d\zeta,$$

$$\sigma_{x1}^{*(k,s)}=a_3^{(k)}\sigma_r^{*(k,s)}+a_4^{(k)}\sigma_{r\theta}^{*(k,s)}+a_5^{(k)}\sigma_{rx}^{*(k,s)}+\tau_x^{*(k,s)}+B_{12}U_r^{(k,s-1)}+$$

$$+\zeta B_{16}U_{\theta,\xi}^{(k,s-2)}+\zeta\Big(a_1'^{(k)}\sigma_x^{(k,s-2)}+a_2'^{(k)}\sigma_\theta^{(k,s-2)}+a_3'^{(k)}\sigma_r^{(k,s-2)}$$

$$+a_4'^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k,s-2)}+a_5'^{(k)}\sigma_{xr}^{(k,s-2)}+a_6'^{(k)}\sigma_{x\theta}^{(k,s-2)}\Big),$$

$$\sigma_{\theta1}^{*(k,s)}=b_3^{(k)}\sigma_r^{*(k,s)}+b_4^{(k)}\sigma_{r\theta}^{*(k,s)}+b_5^{(k)}\sigma_{rx}^{*(k,s)}+\tau_\theta^{*(k,s)}+B_{22}U_r^{(k,s-1)}+$$

$$+\zeta B_{26}U_{\theta,\xi}^{(k,s-2)}+\zeta\Big(b_1'^{(k)}\sigma_x^{(k,s-2)}+b_2'^{(k)}\sigma_\theta^{(k,s-2)}+b_3'^{(k)}\sigma_r^{(k,s-2)}+$$

$$+b_4'^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k,s-2)}+b_5'^{(k)}\sigma_{xr}^{(k,s-2)}+b_6'^{(k)}\sigma_{x\theta}^{(k,s-2)}\Big),$$

$$\sigma_{x\theta1}^{*(k,s)}=c_3^{(k)}\sigma_r^{*(k,s)}+c_4^{(k)}\sigma_{r\theta}^{*(k,s)}+c_5^{(k)}\sigma_{rx}^{*(k,s)}+\tau_{x\theta}^{*(k,s)}+B_{26}U_r^{(k,s-1)}+$$

$$+\zeta B_{66}U_{\theta,\xi}^{(k,s-2)}+\zeta\Big(c_1'^{(k)}\sigma_x^{(k,s-2)}+c_2'^{(k)}\sigma_\theta^{(k,s-2)}+c_3'^{(k)}\sigma_r^{(k,s-2)}+$$

$$+c_4'^{(k)}\sigma_{r\theta}^{(k,s-2)}+c_5'^{(k)}\sigma_{xr}^{(k,s-2)}+c_6'^{(k)}\sigma_{x\theta}^{(k,s-2)}\Big),$$

$$\tau_x^{*(k,s)}=B_{11}^{(k)}\varepsilon_1^{*(k,s)}+B_{12}^{(k)}\varepsilon_2^{*(k,s)}+B_{16}^{(k)}\omega^{*(k,s)},(x,\theta;1,2),$$

$$\tau_{x\theta}^{*(k,s)}=B_{16}^{(k)}\varepsilon_1^{*(k,s)}+B_{26}^{(k)}\varepsilon_2^{*(k,s)}+B_{66}^{(k)}\omega^{*(k,s)},$$

$$\varepsilon_1^{*(k,s)}=U_{x,\xi}^{*(k,s)},\ \varepsilon_2^{*(k,s)}=U_{\theta,\varphi}^{*(k,s)},\ \omega^{*(k,s)}=U_{\theta,\xi}^{*(k,s)}+U_{x,\varphi}^{*(k,s)},\ \varepsilon_0^{(k,s)}=U_{\theta,\xi}^{(k,s)}$$

$$a_i'^{(k)}=-\Big(a_{2i}^{(k)}B_{12}^{(k)}+a_{4i}^{(k)}B_{16}^{(k)}\Big),\ b_i'^{(k)}=-\Big(a_{2i}^{(k)}B_{22}^{(k)}+a_{4i}^{(k)}B_{26}^{(k)}\Big),$$

$$c_i'^{(k)}=-\Big(a_{2i}^{(k)}B_{26}^{(k)}+a_{4i}^{(k)}B_{66}^{(k)}\Big),\ (i=1,2,...,6).$$

Предполагается, что $Q^{(s-i)}\equiv 0$, если $s<i$.

Неизвестные функции интегрирования $\tau_{rx0}^{(k,s)},\tau_{r\theta0}^{(k,s)},\tau_{r0}^{(k,s)},U_{x0}^{(k,s)},U_{\theta0}^{(k,s)},\ U_{r0}^{(k,s)}$ определяются из условий (1.1) и (1.2).

Удовлетворив условиям полного контакта слоёв (1.2), получим:

$$\tau_{rx0}^{(1,s)}=\tau_{rx0}^{(2,s)},\tau_{r\theta0}^{(1,s)}=\tau_{r\theta0}^{(2,s)},\tau_{r0}^{(1,s)}=\tau_{r0}^{(2,s)},$$
$$U_{x0}^{(1,s)}=U_{x0}^{(2,s)},U_{\theta0}^{(1,s)}=U_{\theta0}^{(2,s)},U_{r0}^{(1,s)}=U_{r0}^{(2,s)}. \tag{1.10}$$

Удовлетворив поверхностным условиям (1.1), определим неизвестные функции интегрирования:

$$\sigma_{rx0}^{(2,s)}=\sigma_{rx}^{-(s)}-\sigma_{rx}^{*(2,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_2\right),\left(x,\theta\right),\ \sigma_{r0}^{(1,s)}=\sigma_{r}^{+(s)}-\sigma_{r}^{*(1,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_1\right),$$
$$U_{x0}^{(1,s)}=u_{x}^{+(s)}-U_{x}^{*(1,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_1\right),\left(x,\theta\right),\ U_{r0}^{(2,s)}=U_{r}^{-(s)}-U_{r}^{*(2,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_2\right). \tag{1.11}$$

Из (1.7), с учетом (1.11), получим окончательное решение поставленной задачи:

$$\sigma_{r}^{(k,s)}=\sigma_{r}^{+(s)}+\sigma_{r}^{*(k,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta\right)-\sigma_{r}^{*(1,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_1\right),$$
$$\sigma_{rx}^{(k,s)}=\sigma_{rx}^{-(s)}+\sigma_{rx}^{*(k,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta\right)-\sigma_{rx}^{*(2,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_2\right),\ \left(x,\theta\right),$$
$$U_{r}^{(k,s)}=u_{r}^{-(s)}+U_{r}^{*(k,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta\right)-U_{r}^{*(2,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_2\right),$$
$$U_{x}^{(k,s)}=u_{x}^{+(s)}+U_{x}^{*(k,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta\right)-U_{x}^{*(1,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_1\right),\left(x,\theta\right), \tag{1.12}$$
$$\sigma_{x}^{(k,s)}=a_3^{(k)}\sigma_{r}^{+(s)}+a_4^{(k)}\sigma_{r\theta}^{-(s)}+a_5^{(k)}\sigma_{rx}^{-(s)}+$$
$$+B_{11}^{(k)}u_{x,\xi}^{+(s)}+B_{12}^{(k)}u_{\theta,\varphi}^{+(s)}+B_{16}^{(k)}\left(u_{\theta,\xi}^{+(s)}+u_{x,\varphi}^{+(s)}\right)+\sigma_{x}^{*(k,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta\right)$$
$$\left(x,\theta;a,b;a',b';1,2\right),$$
$$\sigma_{x\theta}^{(k,s)}=c_3^{(k)}\sigma_{r}^{+(s)}+c_4^{(k)}\sigma_{r\theta}^{-(s)}+c_5^{(k)}\sigma_{rx}^{-(s)}+$$
$$+B_{16}^{(k)}u_{x,\xi}^{+(s)}+B_{26}^{(k)}u_{\theta,\phi}^{+(s)}+B_{66}^{(k)}\left(u_{\theta,\xi}^{+(s)}+u_{x,\phi}^{+(s)}\right)+\sigma_{x\theta}^{*(k,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta\right)$$

где

$$\sigma_{x}^{*(k,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta\right)=\sigma_{x1}^{*(k,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta\right)-a_3^{(k)}\sigma_{r}^{*(1,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_1\right)-a_4^{(k)}\sigma_{r\theta}^{*(2,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_2\right)$$
$$-a_5^{(k)}\sigma_{rx}^{*(2,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_2\right)-B_{11}^{(k)}U_{x,\xi}^{*(1,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_1\right)-B_{12}^{(k)}U_{\theta,\varphi}^{*(1,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_1\right)-$$
$$-B_{16}^{(k)}\left(U_{\theta,\xi}^{*(1,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_1\right)+U_{x,\varphi}^{*(1,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_1\right)\right),\left(x,\theta;a,b;a',b';1,2\right),$$
$$\sigma_{x\theta}^{*(k,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta\right)=\sigma_{x\theta1}^{*(k,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta\right)-c_3^{(k)}\sigma_{r}^{*(1,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_1\right)-$$
$$-c_4^{(k)}\sigma_{r\theta}^{*(2,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_2\right)-c_5^{(k)}\sigma_{rx}^{*(2,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_2\right)-B_{16}^{(k)}U_{x,\xi}^{*(1,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_1\right)-$$
$$-B_{26}^{(k)}U_{\theta,\varphi}^{*(1,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_1\right)-B_{66}^{(k)}\left(U_{\theta,\xi}^{*(1,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_1\right)+U_{x,\varphi}^{*(1,s)}\left(\xi,\varphi,\zeta_1\right)\right)$$

В формулах (1.11), (1.12) необходимо учитывать, что

$$\sigma_{r}^{+(0)}=\sigma_{r}^{+},\sigma_{rx}^{-(0)}=\sigma_{rx}^{-},\ \sigma_{r\theta}^{-(0)}=\sigma_{r\theta}^{-},\ u_{x}^{+(0)}=u_{x}^{+},\ u_{\theta}^{+(0)}=u_{\theta}^{+},\ u_{r}^{-(0)}=u_{r}^{-},$$
$$\sigma_{r}^{+(s)}=\sigma_{rx}^{-(s)}=\sigma_{r\theta}^{-(s)}=0,\ u_{x}^{+(s)}=u_{\theta}^{+(s)}=u_{r}^{-(s)}=0\ \text{ при }\ s>0$$

Выведенные выше формулы (1.7) – (1.12) носят итерационный характер и позволяют найти значения всех компонент тензора напряжений и вектора перемещения с заранее заданной точностью. Таким образом, условия (1.1) – (1.2) оказались достаточными для определения всех искомых величин во внутренней задаче. Это решение, как правило, не будет удовлетворять торцевым условиям и условиям на краях цилиндрической оболочки. Для удовлетворения условиям на торцах $x = 0, L$ и на краях $\theta = 0, \Theta$ необходимо построить решения типа пограничного слоя вблизи этих торцов и краёв [3-6].

2. Примеры. В качестве иллюстрации рассмотрим частные примеры.

а) Пусть имеем анизотропную цилиндрическую оболочку, на внешней и внутренней поверхностях которой заданы следующие условия для напряжений и перемещений:

$$\sigma_r^+ = -q, u_x^+ = 0,\ u_\theta^+ = 0,\ \sigma_{rx}^- = 0,\ \sigma_{r\theta}^- = 0,\ \ u_r^- = 0\,. \tag{2.1}$$

Учитывая, что $Q_r^{*(k,0)} = 0$ и ограничившись нулевым приближением, с помощью рекуррентных формул (1.7) – (1.12) получим решение

$$\begin{gathered}\sigma_r^{(k)} = -\sqrt{\frac{R}{h}}q, \sigma_x^{(k)} = -\sqrt{\frac{R}{h}}a_3^{(1)}q, \sigma_\theta^{(k)} = -\sqrt{\frac{R}{h}}b_3^{(1)}q, \sigma_{x\theta}^{(k)} = -\sqrt{\frac{R}{h}}c_3^{(1)}q,\\ u_x^{(k)} = u_\theta^{(k)} = u_r^{(k)} = 0,\ \sigma_{rx}^{(k)} = \sigma_{r\theta}^{(k)} = 0,\ \ k = 1,2.\end{gathered} \tag{2.2}$$

Вычисляя все приближения до $s = 2$ включительно, получим решение внутренней задачи с точностью $O\left(\varepsilon^2\right)$:

$$\sigma_r^{(1)} = -\sqrt{\frac{R}{h}}q - \sqrt{\frac{1}{Rh}}\left(b_3^{(1)} - 1\right)\left(r - R - h_1\right)q,\ \ \sigma_{rx}^{(1)} = \sigma_{r\theta}^{(1)} = 0$$

$$\begin{aligned}\sigma_x^{(1)} = -\sqrt{\frac{R}{h}}a_3^{(1)}q - \Bigg[& B_{12}^{(1)}\left(a_{13}^{(1)}a_3^{(1)} + a_{23}^{(1)}b_3^{(1)} + a_{36}^{(1)}c_3^{(1)} + a_{33}^{(1)}\right)\frac{r-R}{\sqrt{Rh}} + \\ & + B_{12}^{(1)}\left(a_{13}^{(2)}a_3^{(2)} + a_{23}^{(2)}b_3^{(2)} + a_{36}^{(2)}c_3^{(2)} + a_{33}^{(2)}\right)\frac{h_2}{h} + a_3^{(1)}\left(b_3^{(1)} - 1\right)\frac{r-R-h_1}{\sqrt{Rh}} + \\ & + \left(a_1'^{(1)}a_3^{(1)} + a_2'^{(1)}b_3^{(1)} + a_6'^{(1)}c_3^{(1)} + a_3'^{(1)}\right)\frac{r-R}{\sqrt{Rh}}\Bigg]q,\end{aligned} \tag{2.3}$$

$$\begin{aligned}\sigma_\theta^{(1)} = -\sqrt{\frac{R}{h}}b_3^{(1)}q - \Bigg[& B_{22}^{(1)}\left(a_{13}^{(1)}a_3^{(1)} + a_{23}^{(1)}b_3^{(1)} + a_{36}^{(1)}c_3^{(1)} + a_{33}^{(1)}\right)\frac{r-R}{\sqrt{Rh}} + \\ & + B_{22}^{(1)}\left(a_{13}^{(2)}a_3^{(2)} + a_{23}^{(2)}b_3^{(2)} + a_{36}^{(2)}c_3^{(2)} + a_{33}^{(2)}\right)\frac{h_2}{h} + b_3^{(1)}\left(b_3^{(1)} - 1\right)\frac{r-R-h_1}{\sqrt{Rh}} + \\ & + \left(b_1'^{(1)}a_3^{(1)} + b_2'^{(1)}b_3^{(1)} + b_6'^{(1)}c_3^{(1)} + b_3'^{(1)}\right)\frac{r-R}{\sqrt{Rh}}\Bigg]q,\end{aligned}$$

$$\sigma_{x\theta}^{(1)} = -\sqrt{\frac{R}{h}} c_3^{(1)} q - \left[B_{26}^{(1)} \left(a_{13}^{(1)} a_3^{(1)} + a_{23}^{(1)} b_3^{(1)} + a_{36}^{(1)} c_3^{(1)} + a_{33}^{(1)} \right) \frac{r-R}{\sqrt{Rh}} + \right.$$

$$+ B_{26}^{(1)} \left(a_{13}^{(2)} a_3^{(2)} + a_{23}^{(2)} b_3^{(2)} + a_{36}^{(2)} c_3^{(2)} + a_{33}^{(2)} \right) \frac{h_2}{h} + c_3^{(1)} \left(b_3^{(1)} - 1 \right) \frac{r-R-h_1}{\sqrt{Rh}} +$$

$$\left. + \left(c_1'^{(1)} a_3^{(1)} + c_2'^{(1)} b_3^{(1)} + c_6'^{(1)} c_3^{(1)} + c_3'^{(1)} \right) \frac{r-R}{\sqrt{Rh}} \right] q,$$

$$u_x^{(1)} = -\sqrt{\frac{R}{h}} \left(a_{15}^{(1)} a_3^{(1)} + a_{25}^{(1)} b_3^{(1)} + a_{56}^{(1)} c_3^{(1)} + a_{35}^{(1)} \right) \left(r - R - h_1 \right) q \,, \left(x, \theta; 4, 5 \right)$$

$$u_r^{(1)} = -\sqrt{\frac{R}{h}} \left[\left(a_{13}^{(1)} a_3^{(1)} + a_{23}^{(1)} b_3^{(1)} + a_{36}^{(1)} c_3^{(1)} + a_{33}^{(1)} \right) \left(r - R \right) + \right.$$

$$\left. + \left(a_{13}^{(2)} a_3^{(2)} + a_{23}^{(2)} b_3^{(2)} + a_{36}^{(2)} c_3^{(2)} + a_{33}^{(2)} \right) h_2 \right] q \,,$$

Для второго слоя имеем:

$$\sigma_r^{(2)} = -\sqrt{\frac{R}{h}} q - \sqrt{\frac{1}{Rh}} \left[\left(b_3^{(2)} - 1 \right) \left(r - R \right) - \left(b_3^{(1)} - 1 \right) h_1 \right] q, \quad \sigma_{rx}^{(2)} = \sigma_{r\theta}^{(2)} = 0$$

$$\sigma_x^{(2)} = -\sqrt{\frac{R}{h}} a_3^{(2)} q - \left[B_{12}^{(2)} \left(a_{13}^{(2)} a_3^{(2)} + a_{23}^{(2)} b_3^{(2)} + a_{36}^{(2)} c_3^{(2)} + a_{33}^{(2)} \right) \frac{r-R+h_2}{\sqrt{Rh}} + \right.$$

$$+ a_3^{(2)} \left(b_3^{(2)} - 1 \right) \frac{r-R}{\sqrt{Rh}} - a_3^{(2)} \left(b_3^{(1)} - 1 \right) \frac{h_1}{\sqrt{Rh}} +$$

$$\left. + \left(a_1'^{(2)} a_3^{(2)} + a_2'^{(2)} b_3^{(2)} + a_6'^{(2)} c_3^{(2)} + a_3'^{(2)} \right) \frac{r-R}{\sqrt{Rh}} \right] q,$$

$$\sigma_{\theta}^{(2)}=-\sqrt{\frac{R}{h}}b_3^{(2)}q-\left[B_{22}^{(2)}\left(a_{13}^{(2)}a_3^{(2)}+a_{23}^{(2)}b_3^{(2)}+a_{36}^{(2)}c_3^{(2)}+a_{33}^{(2)}\right)\frac{r-R+h_2}{\sqrt{Rh}}+\right.$$

$$+b_3^{(2)}\left(b_3^{(2)}-1\right)\frac{r-R}{\sqrt{Rh}}-b_3^{(2)}\left(b_3^{(1)}-1\right)\frac{h_1}{\sqrt{Rh}}+$$

$$\left.+\left(b_1'^{(2)}a_3^{(2)}+b_2'^{(2)}b_3^{(2)}+b_6'^{(2)}c_3^{(2)}+b_3'^{(2)}\right)\frac{r-R}{\sqrt{Rh}}\right]q,$$

$$\sigma_{x\theta}^{(2)}=-\sqrt{\frac{R}{h}}c_3^{(2)}q-\left[B_{26}^{(2)}\left(a_{13}^{(2)}a_3^{(2)}+a_{23}^{(2)}b_3^{(2)}+a_{36}^{(2)}c_3^{(2)}+a_{33}^{(2)}\right)\frac{r-R+h_2}{\sqrt{Rh}}+\right.$$

$$+c_3^{(2)}\left(b_3^{(2)}-1\right)\frac{r-R}{\sqrt{Rh}}-c_3^{(2)}\left(b_3^{(1)}-1\right)\frac{h_1}{\sqrt{Rh}}+$$

$$\left.+\left(c_1'^{(2)}a_3^{(2)}+c_2'^{(2)}b_3^{(2)}+c_6'^{(2)}c_3^{(2)}+c_3'^{(2)}\right)\frac{r-R}{\sqrt{Rh}}\right]q,$$

$$u_r^{(2)}=-\sqrt{\frac{R}{h}}\left(a_{13}^{(2)}a_3^{(2)}+a_{23}^{(2)}b_3^{(2)}+a_{36}^{(2)}c_3^{(2)}+a_{33}^{(2)}\right)\left(r-R+h_2\right)q,$$

$$u_x^{(2)}=-\sqrt{\frac{R}{h}}\left[\left(a_{15}^{(2)}a_3^{(2)}+a_{25}^{(2)}b_3^{(2)}+a_{56}^{(2)}c_3^{(2)}+a_{35}^{(2)}\right)\left(r-R\right)-\right.$$

$$\left.-\left(a_{15}^{(1)}a_3^{(1)}+a_{25}^{(1)}b_3^{(1)}+a_{56}^{(1)}c_3^{(1)}+a_{35}^{(1)}\right)h_1\right]q,\left(x,\theta;4,5\right).$$

Если материалы слоёв ортотропные, то полученные формулы намного упрощаются. В частности, $u_x^{(k)}=u_\theta^{(k)}=0$.

б) Пусть имеем ортотропную цилиндрическую оболочку, на внешней и внутренней поверхностях которой заданы следующие условия:

$$\sigma_r^{+}=0,u_x^{+}=0,\ u_\theta^{+}=0,\ \sigma_{rx}^{-}=\tau_1,\ \sigma_{r\theta}^{-}=\tau_2,\ \ u_r^{-}=0. \tag{2.4}$$

Вычисляя все приближения до $s=4$ включительно, получим решение внутренней задачи с точностью $O\left(\varepsilon^4\right)$:

$$\sigma_r^{(k)}=\sigma_x^{(k)}=\sigma_\theta^{(k)}=\sigma_{x\theta}^{(k)}=0\,,u_r^{(k)}=0\,,$$

$$\sigma_{rx}^{(k)}=\sqrt{\frac{R}{h}}\tau_1+\frac{1}{R}\sqrt{\frac{1}{Rh}}\left(r-R+h_2\right)\left(r-2R\right)\tau_1\,,$$

$$\sigma_{r\theta}^{(k)}=\sqrt{\frac{R}{h}}\tau_2+\frac{1}{R}\sqrt{\frac{1}{Rh}}\left(r-R+h_2\right)\left(3r-5R+h_2\right)\tau_2\,, \tag{2.5}$$

$$u_x^{(1)} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{Rh}}a_{55}^{(1)}\left[2R\left(r-R-h_1\right)-\left(r-R+h_2\right)^2+\left(h_1+h_2\right)^2\right]\tau_1,$$

$$u_x^{(2)} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{Rh}}\left[a_{55}^{(2)}\left(2R\left(r-R\right)-\left(r-R+h_2\right)^2\right)-a_{55}^{(1)}\left(2h_1R-\left(h_1+h_2\right)^2\right)\right]\tau_1.$$

$$u_\theta^{(1)} = \sqrt{\frac{1}{hR}}\,a_{44}^{(1)}\left(R-h_1-2h_2\right)\left(r-R-h_1\right)\tau_2,$$

$$u_\theta^{(2)} = \sqrt{\frac{1}{Rh}}\left[a_{44}^{(2)}\left(R-2h_2\right)\left(r-R\right)-a_{44}^{(1)}\left(r-h_1-2h_2\right)h_1\right]\tau_2,$$

В заключение отметим, что решение типа пограничного слоя можно построить с помощью функций типа пограничного слоя [5-7,9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных пластин. М.: Наука, 1987. 360с. Ambartsumyan S.A. Theory of anisotropic plates. M.: Nauka, 1987. 360p.(inRussian).
2. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек. М.: Наука, 1974. 448 с.Ambartsumyan S.A. General Theory of Anisotropic Shells. M.: Nauka, 1987. 360p.(inRussian).
3. Гольденвейзер А.Л. Построение приближенной теории оболочек при помощи асимптотического интегрирования уравнений теории упругости.//ПММ. 1963. Т.27. Вып.4. С.593-608.Goldenveizer A.L. The construction of the approximate theory of shells by the method asymptotic integration of the equations of elasticity theory //J.Appl.Math.Mech. 1963.Vol.27.Issue 4.pp. 593-608 (in Russian).
4. Гольденвейзер А.Л. Теория упругих тонких оболочек. М.: Наука, 1976. 512 с. Goldenveiser A.L. Theory of elastik thin shells. M.: Nauka, 1976. 512p. (in Russian).
5. Агаловян Л.А. Асимптотическая теория анизотропных пластин и оболочек. М.: Наука, 1997. 415с. Aghalovian L.A. Asimptotic theory of anisotropic plates and shells. Singapore-London. World Scientific Publ. 2015. 376p.
6. Агаловян Л.А., Геворкян Р.С. Неклассические краевые задачи анизотропных слоистых балок, пластин и оболочек. Ереван: Изд. «Гитутюн» НАН РА, 2005. 468с. Aghalovian L.A., Gevorgyan R.S. Nonclassical boundary-volue problems of asymptotic layered beams, plates and shells. Yerevan. 2005. 468p. (in Russian).
7. Хачатрян Ш.М. О напряженных состояниях и их определяющих уравнениях цилиндрических оболочек с общей анизотропией// Изв. АН Арм. ССР. Механика. 1979. Т. 32. №3. С. 26-41. Khachatryan Sh.M. On stress states and the eguations to describe them for cylindrical shell of general anisotropy. //Proceedings of NAS of Armenia. Mechanics. 1979. Vol. 32. № 3. pp. 26-41 (in Russian).
8. ХачатрянА.М., Петросян Г.А. Асимптотическое решение одной смешанной краевой задачи анизотропной цилиндрической оболочки. Труды VI Межд. конф. «Актуальные проблемы механики сплошной среды». 01-06 октября, 2019. Дилижан, Армения. С.340-344. Khachatryan A.M., Petrosyan G.A. Asymptotic solution of one mixed boundary value problem anisotropic cylindrical shell. //Proceedings of VI International Conference «Topical Problems of Continiuum Mechanics».Dilijan, Armenia. October 01-6, 2019. pp. 340-344 (in Russian).

9. Петросян Г.А., Хачатрян А.М. Асимптотическое решение одной смешанной краевой задачи анизотропной пластинки. //Изв. НАН Армении. Механика. 2009.Т.62. №4. С.65-72. Petrosyan G.A. Khachatryan A.M. Asimptotic solution of one mixed boundary problem of anisotropic plate. //Proceedings of NAS of Armenia. Mechanics. 2009. Vol. 62. № 4. pp. 65-72 (in Russian).

Сведения об авторах:
Хачатрян Александр Мовсесович, д.ф.м.н., проф., ведущий научный сотрудник Института механики НАН Армении.
Адрес: РА, г. Ереван, пр. Маршала Баграмяна 24/2.
Тел.: (37499)21-19-49. **E-mail:** alexkhach49@yandex.ru

Петросян Гаянэ Альбертовна, к.ф.м.н., доцент кафедры математики АрГУ.
Адрес: Республика Арцах, г. Степанакерт, ул. Мхитара Гоша, 5.
Тел.: (37497)23-83-10. **E-mail:** gayan-petrosian@mail.ru

Поступила в редакцию 8.05.2020.