УДК 624.042

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

И.А.Краснобаев,
И.А.Маяцкая,
О.Э.Витолс

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ТРЕХСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ЛЕГКИМ ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

Предлагается расчет трехслойных оболочек произвольной формы с легким заполнителем. Элемент оболочки рассматривается как конструкция, состоящая из двух тонких внешних слоев и заполнителя. В исследовании получены системы уравнений равновесия заполнителя под действием некоторых сил, приложенных к поверхностям заполнителя. Рассмотрены расчеты с учетом нелинейности и линейности деформации заполнителя по нормали в направлении касательных к координатным линиям.

Ключевые слова: *конструкция, оболочка, деформация, прогиб, слой, легкий заполнитель*

При расчете трехслойных конструкций с легким заполнителем встречаются случаи нагружения нормальными и касательными к срединной поверхности силами или моментами, приложенными к одному из несущих слоев [1-5]. Нагрузка может распространяться как на всю поверхность, так и на ее часть. Расчетная схема в таких случаях нагружения не позволяет принимать допущение о несжимаемости заполнителя в направлении нормали к срединной поверхности, как это сделано в большинстве работ, посвященных расчету трехслойных оболочек [6-8]. В статье без указанного допущения выводятся уравнения трехслойных оболочек произвольного очертания.

При выводе уравнений принимаем, что несущие слои подчиняются всем гипотезам, применяемым в теории тонких упругих оболочек - толщина несущих слоев значительно меньше, чем толщина оболочки в целом: $t_1 << c + t_1 + t_2$; $t_2 << c + t_1 + t_2$ (рис.1).

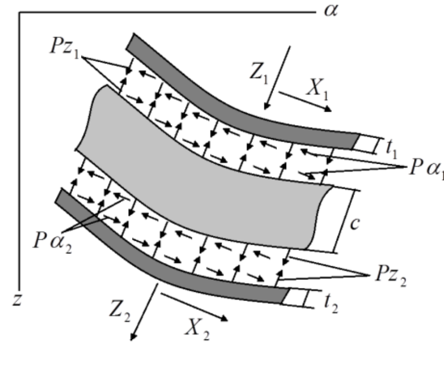

Рис. 1. Элемент трехслойной оболочки

Элемент оболочки рассматривается как конструкция, состоящая из двух тонких внешних слоев и заполнителя, представляющего собой трехмерное упругое тело, ограниченное эквидистантными поверхностями. Каждый из несущих слоев нагружен внешней нагрузкой P, массовыми силами и реактивной нагрузкой P_p, приложенной со стороны прикрепления заполнителя и пропорциональной деформации последнего (рис.1). Заполнитель нагружен реактивной нагрузкой. приложенной на границе с несущими слоями, и массовыми силами. Подобная схема применена в [9, 10]. В общем случае решение задачи в перемещениях сводится к решению системы девяти нелинейных дифференциальных уравнений относительно перемещений в декартовой системе координат u_i, v_i, w_i ($i=1,2,3$). Для упрощения решения задачи используется приведения трехмерной задачи к двумерной путем введения функций поперечного распределения перемещений в заполнителе, предложенный в [2]. При выводе уравнений использованы следующие обозначения:

t_i – толщина i-го несущего слоя,

c – толщина заполнителя,

E_i – модуль упругости материала i-го слоя,

ν_i – коэффициент Пуассона i-го слоя,

u_i, v_i, w_i – перемещения i-го слоя в направлении осей ортогональной системы координат,

H_{1i}, H_{2i}, H_{3i} – коэффициенты Лямэ срединной поверхности i-го слоя,

A_{1i}, B_i – коэффициенты первой квадратичной формы поверхности i-го слоя.

Индексы «$_1$» и «$_2$» относятся к несущим слоям, а индекс «$_3$» – к заполнителю.

При выводе уравнений применяется система ортогональных координат смешанного типа. Координатная линия z является прямолинейной, а координатные линии α и β – криволинейными. В этом случае коэффициент будет постоянным и равным единице.

Деформация заполнителя может быть описана выражениями

$$\varepsilon_{\alpha\alpha 3}=\frac{1}{H_{13}}\frac{\partial u_3}{\partial\alpha}+\frac{1}{H_{13}H_{23}}\frac{\partial H_{13}}{\partial\beta}u_3+\frac{1}{H_{13}}\frac{\partial H_{13}}{\partial z}w_3,$$

$$\varepsilon_{\beta\beta 3}=\frac{1}{H_{23}}\frac{\partial v_3}{\partial\beta}+\frac{1}{H_{23}}\frac{\partial H_{23}}{\partial z}w_3+\frac{1}{H_{13}H_{23}}\frac{\partial H_{23}}{\partial\alpha}u_3,$$

$$\varepsilon_{ZZ3}=\frac{\partial w_3}{\partial z}, \tag{1}$$

$$\varepsilon_{\alpha\beta 3}=\frac{H_{23}}{H_{13}}\frac{\partial}{\partial\alpha}\left(\frac{1}{H_{23}}v_3\right)+\frac{H_{13}}{H_{23}}\frac{\partial}{\partial\beta}\left(\frac{1}{H_{13}}u_3\right),$$

$$\varepsilon_{\beta Z3}=H_{23}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{1}{H_{13}}u_3\right)+\frac{H_{23}}{H_{13}}\frac{\partial}{\partial\alpha}\left(\frac{1}{H_{23}}v_3\right),$$

$$\varepsilon_{Z\alpha 3}=\frac{1}{H_{13}}\frac{\partial w_3}{\partial\alpha}+H_{13}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{1}{H_{13}}u_3\right).$$

Объемная деформация элемента заполнителя равна

$$\Delta_3=\frac{1}{H_{13}H_{23}}\left[\frac{\partial}{\partial\alpha}\left(H_{23}u_3\right)+\frac{\partial}{\partial\beta}\left(H_{13}v_3\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(H_{13}H_{23}w_3\right)\right]. \tag{2}$$

Закон Гука для изотропного упругого заполнителя имеет вид

$$\begin{aligned}
&\sigma_{\alpha 3}=\lambda_3\Delta_3+2\mu_3\varepsilon_{\alpha\alpha 3}, \quad \tau_{\alpha\beta 3}=\mu_3\varepsilon_{\alpha\beta 3},\\
&\sigma_{\beta 3}=\lambda_3\Delta_3+2\mu_3\varepsilon_{\beta\beta 3}, \quad \tau_{\beta Z3}=\mu_3\varepsilon_{\beta Z3},\\
&\sigma_{Z3}=\lambda_3\Delta_3+2\mu_3\varepsilon_{ZZ3}, \quad \tau_{Z\alpha 3}=\mu_3\varepsilon_{Z\alpha 3},
\end{aligned} \tag{3}$$

где $\lambda_з$ и $\mu_з$ – коэффициенты упругости, определяемые по формулам

$$\lambda_3 = \frac{E_3 \nu_3}{(1+\nu_3)(1-2\nu_3)} \quad \text{и} \quad \mu_3 = \frac{E_3}{2(1+\nu_3)} \,. \tag{4}$$

Представим перемещения в заполнителе в виде рядов

$$\begin{gathered} u_3(\alpha, \beta, z) = \sum_{i=1} u_i(\alpha, \beta)\varphi_j(z), \\ v_3(\alpha, \beta, z) = \sum_{m=1} v_m(\alpha, \beta)\chi_f(z), \\ w_3(\alpha, \beta, z) = \sum_{k=1} w_k(\alpha, \beta)\psi_h(z), \end{gathered} \tag{5}$$

где u_i, v_m и w_k – искомые перемещения, а φ_j, χ_f и ψ_h – некоторые функции от z.

Функции u_i, v_m и w_k являются обобщенными перемещениями, определяющими число степеней свободы тела, а функции φ_j, χ_f и ψ_h определяют характер распределения перемещений u_i, v_m и w_k по нормали к срединной поверхности заполнителя. Искомыми перемещениями будем считать перемещения точек поверхности раздела «заполнитель-несущий слой».

Рассмотрим элемент заполнителя толщиной c (рис. 2), на котором показаны компоненты тензора напряжений и составляющие векторов реактивной нагрузки, действующей на элемент заполнителя со стороны внешних слоев.

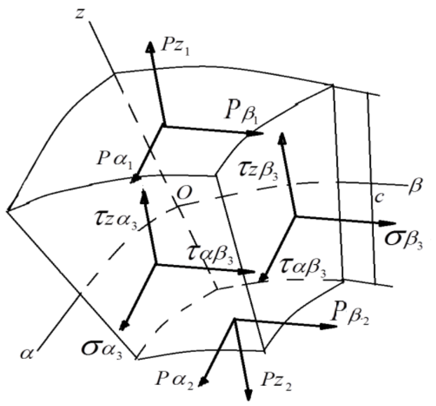

Рис. 2. Элемент заполнителя толщиной с

Выразив напряжения в заполнителе через перемещения $u_з$, $v_з$, $w_з$, используем принцип возможных перемещений Лагранжа для составления выражений работы всех внутренних и внешних сил на всех возможных перемещениях конструкции. Для данного элемента внешними силами будут P_{α_1}, P_{β_1}, P_{z_1}, P_{α_2}, P_{β_2}, P_{z_2}, σ_{α_3}, σ_{β_3}, $\tau_{Z\alpha_3}$, $\tau_{Z\beta_3}$, $\sigma^*{}_{\alpha_3}$, $\sigma^*{}_{\beta_3}$, $\tau^*{}_{Z\alpha_3}$, $\tau^*{}_{Z\beta_3}$ и внутренними $\tau_{\alpha Z3}$, $\tau_{\beta Z3}$, σ_{z_3}. В результате получаем уравнения, которые выражают равенство нулю суммы работ всех внешних и внутренних сил элемента на соответствующем перемещении

$$\begin{gathered} \int \frac{\partial}{\partial \alpha}(H_{23}\sigma_{\alpha 3})\varphi_j dz + \int \frac{\partial}{\partial \beta}(H_{13}\tau_{\alpha\beta_3})\varphi_j dz - \int \tau_{\alpha Z3} H_{13} H_{23} \varphi_j' dz - - \int \sigma_{\beta 3} \frac{\partial H_{23}}{\partial \alpha}\varphi_j dz + \int \tau_{\alpha\beta_3} \frac{\partial H_{13}}{\partial \beta}\varphi_j dz + \\ + \int \tau_{Z\alpha 3} H_{23} \frac{\partial H_{13}}{\partial z}\varphi_j dz + \int P_{\alpha\, j} H_{13} H_{23} \varphi_j dz = 0, \\ \int \frac{\partial}{\partial \beta}(H_{13}\sigma_{\beta_3})\chi_f dz + \int \frac{\partial}{\partial \alpha}(H_{23}\tau_{\alpha\beta_3})\chi_f dz - \int \tau_{\beta Z_3} H_{23} H_{13} \chi_f' dz + + \int \sigma_{\alpha 3} \frac{\partial H_{13}}{\partial \beta}\chi_f dz + \int \tau_{\alpha\beta_3} \frac{\partial H_{23}}{\partial \alpha}\chi_f dz + \\ + \int \tau_{Z\beta_3} H_{13} \frac{\partial H_{23}}{\partial z}\chi_f dz + \int P_{\beta\, j} H_{13} H_{23} \chi_f dz = 0, \end{gathered} \tag{6}$$

$$\int \frac{\partial}{\partial\alpha}\left(H_{23}\tau_{Z\alpha 3}\right)\psi_h dz + \int \frac{\partial}{\partial\beta}\left(H_{13}\tau_{Z\beta_3}\right)\psi_h dz - \int H_{13}H_{23}\sigma_{Z3}\psi_h' dz - -\int \sigma_{\alpha 3}H_{23}\frac{\partial H_{13}}{\partial z}\psi_h dz - \int \sigma_{\beta Z_3}H_{13}\frac{\partial H_{23}}{\partial z}\psi_h dz +$$
$$+\int P_{Z\,h}H_{13}H_{23}\psi_h dz = 0\cdot$$

Число уравнений равно числу степеней свободы.

После подстановки выражений (3) получим систему уравнений равновесия заполнителя под действием некоторых сил P_{α_i}, P_{β_i}, P_{z_i}, приложенных к поверхностям заполнителя $z = \pm c/2$:

$$\sum_{i=1}\left[A_{11i}a_{11i}(z)\frac{\partial^2}{\partial\alpha^2} + A_{12i}a_{12i}(z)\frac{\partial^2}{\partial\beta^2} + A_{13i}a_{13i}(z)\right]u_i + \sum_{m=1}\left[A_{14m}a_{14j}(z)\frac{\partial^2 v_m}{\partial\alpha\partial\beta}\right] +$$
$$+\sum_{k=1}\left[A_{15k}a_{15j}(z) + A_{16k}a_{16j}(z)\frac{\partial^2}{\partial\beta^2} + A_{17j}a_{17j}(z)\frac{\partial^2}{\partial\alpha^2}\right]\frac{\partial w_k}{\partial\alpha} + \int P^*_{\alpha_j}H_{13}H_{23}\varphi_j dz + P_{\alpha i} = 0,$$

$$\sum_{i=1}\left[A_{21i}a_{21i}(z)\frac{\partial^2 u_i}{\partial\alpha\partial\beta}\right] + \sum_{m=1}\left[A_{22m}a_{22f}(z)\frac{\partial^2}{\partial\beta^2} + A_{23m}a_{23f}(z)\frac{\partial^2}{\partial\alpha^2} + A_{24m}a_{24f}(z)\right]v_m + \qquad (7)$$

$$+\sum_{k=1}\left[A_{25k}a_{25f}(z) + A_{26k}a_{26f}(z)\frac{\partial^2}{\partial\alpha^2} + A_{27k}a_{27f}(z)\frac{\partial^2}{\partial\beta^2}\right]\frac{\partial w_k}{\partial\beta} + \int P^*_{\beta f}H_{13}H_{23}\chi_f dz + P_{\beta i} = 0,$$

$$\sum_{i=1}\left[A_{31i}a_{31h}(z) + A_{321i}a_{32h}(z)\frac{\partial^2}{\partial\beta^2} + A_{33i}a_{33h}(z)\frac{\partial^2}{\partial\alpha^2}\right]\frac{\partial u_i}{\partial\alpha} +$$
$$+\sum_{m=1}\left[A_{34m}a_{34h}(z) + A_{35m}a_{35h}(z)\frac{\partial^2}{\partial\alpha^2} + A_{36m}a_{36h}(z)\frac{\partial^2}{\partial\beta^2}\right]\frac{\partial v_m}{\partial\beta} +$$
$$+\sum_{k=1}\left[A_{37k}a_{37h}(z)\frac{\partial^2}{\partial\alpha^2} + A_{38k}a_{38h}(z)\frac{\partial^2}{\partial\beta^2} + A_{39k}a_{39h}(z)\right]w_k + \int P^*_{Zh}H_{13}H_{23}\psi_h dz + P_{Z\,i} = 0,$$

где $A_{lsn} = A_{ls}\left(H_{13}, H_{23}, \lambda_3, \mu_3\right)$, $a_{lsr} = \int_{\mp\frac{c}{2}}^{\pm\frac{c}{2}} f(z)\varphi_j(z)dz$, n=i,m,k; r=i, f,h; а интегралы от массовых сил равны

$$\int_{\mp\frac{c}{2}}^{\pm\frac{c}{2}} P^*_{\alpha_j}H_{13}H_{23}\varphi_j(z)dz, \quad \int_{\mp\frac{c}{2}}^{\pm\frac{c}{2}} P^*_{\beta f}H_{13}H_{23}\chi_f(z)dz, \quad \int_{\mp\frac{c}{2}}^{\pm\frac{c}{2}} P^*_{Zh}H_{13}H_{23}\psi_h(z)dz\cdot \qquad (8)$$

Согласно расчетной схеме P_{α_1}, P_{β_1}, P_{z_1} являются реактивными силами, действующими на несущие слои. Представим компоненты нагрузки, действующей на несущие слои, как сумму внешних сил, приложенных к данному слою, и реактивных сил, приложенных со стороны прикрепления заполнителя:

$$X_{1SUM} = X_1 - P_{\alpha_1}; \quad X_{2SUM} = X_2 + P_{\alpha_2};$$
$$Y_{1SUM} = Y_1 - P_{\beta_1}; \quad Y_{2SUM} = Y_2 + P_{\beta_2}; \qquad (9)$$
$$Z_{1SUM} = Z_1 - P_{z_1}; \quad Z_{2SUM} = Z_2 + P_{z_2}.$$

Выразив реактивную нагрузку через перемещения поверхностей заполнителя u_i, v_m и w_k, получим систему уравнений равновесия трехслойной оболочки произвольной формы.

Точность решения зависит от соответствия задания функций поперечного распределения перемещений физическому смыслу задачи. Характер деформации для заполнителя существенно отличается от линейного при малой его толщине (рис. 3), в противном случае учет нелинейности незначительно влияет на расчет. В этом случае принимается линейная гипотеза деформации заполнителя по нормали для описания деформации заполнителя в направлении касательных к координатным линиям α и β.

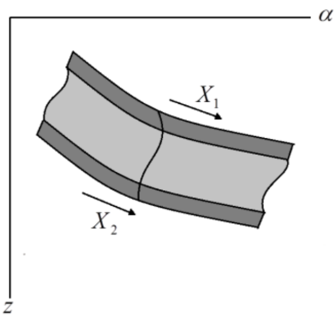

Рис. 3. Характер деформации трехслойной оболочки

Закон изменения перемещений в заполнителе имеет вид

$$u_3 = \frac{1}{2}\left(u_1 - \frac{t_1}{2}\frac{\partial w_1}{\partial \alpha} + u_2 + \frac{t_2}{2}\frac{\partial w_2}{\partial \alpha}\right) - \frac{z}{c}\left(u_1 - \frac{t_1}{2}\frac{\partial w_1}{\partial \alpha} - u_2 - \frac{t_2}{2}\frac{\partial w_2}{\partial \alpha}\right),$$

$$v_3 = \frac{1}{2}\left(v_1 - \frac{t_1}{2}\frac{\partial w_1}{\partial \beta} + v_2 + \frac{t_2}{2}\frac{\partial w_2}{\partial \beta}\right) - \frac{z}{c}\left(v_1 - \frac{t_1}{2}\frac{\partial w_1}{\partial \beta} - v_2 - \frac{t_2}{2}\frac{\partial w_2}{\partial \beta}\right), \qquad (10)$$

$$w_3 = \frac{w_1 + w_2}{2} - \frac{z}{c}(w_1 - w_2),$$

а функции распределения перемещений могут быть представлены выражениями

$$\varphi_{i1} = \chi_{m1} = \psi_{k1} = \varphi_{j1} = \chi_{f1} = \psi_{h1} = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{2z}{c}\right),$$

$$\varphi_{i2} = \chi_{m2} = \psi_{k2} = \varphi_{j2} = \chi_{f2} = \psi_{h2} = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{2z}{c}\right), \qquad (11)$$

$$\varphi_{i3} = \chi_{m3} = -\frac{1}{2}\left(1 - \frac{2z}{c}\right), \varphi_{i4} = \chi_{m4} = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{2z}{c}\right).$$

Используя линейный закон распределения перемещений, можно составить систему уравнений равновесия трехслойных цилиндрической, конической или пологой оболочки.

Расчет многослойных оболочек различной формы является важной задачей строительной механики. Несомненно, представляет собой интерес трехслойные оболочки произвольной формы [6, 8-10]. В данном исследовании рассмотрены трехслойные оболочки с легким заполнителем и двумя несущими слоями (внешним и внутренним). Получена система уравнений равновесия заполнителя под действием некоторых сил P_{α_i}, P_{β_i}, P_{z_i}, приложенных к поверхностям заполнителя $z = \pm c/2$. Отметим, что характер деформации для заполнителя при малой его толщине по сравнению с толщиной несущих слоев существенно отличается от линейного. Такое соотношение толщин на практике встречается очень редко, чаще всего заполнитель имеет толщину, намного превышающую толщину несущего слоя. В исследовании принимается линейная гипотеза деформации заполнителя в направлении касательных к координатным линиям α и β. Можно рассмотреть и различные граничные условия на краях оболочки. Предложено аналитическое решение для расчета трехслойных оболочек.

Ի.Ա.Կրասնոբաև,
Ի.Ա.Մայացկայա,
O.Է.Վիտոլս

ԹԵԹԵՎ ՄԻՋԱՆԿՅԱԼ ԼՑԱՆՅՈՒԹՈՎ ԵՌԱՇԵՐՏ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐՋ

Առաջարկվում է թեթև լցանյութով կամայական ձևի եռաշերտ թաղանթների հաշվարկ: Թաղանթի տարրը դիտարկվում է որպես երկու բարակ արտաքին շերտերից և լցանյութից կազմված կոնստրուկցիա: Հետազոտությունում ստացված են լցանյութի մակերեսին կիրառված որոշ ուժերի ազդեցության տակ լցանյութի հավասարակշռման հավասարումների համակարգ: Դիտարկված են հաշվարկներ՝ հաշվի առնելով լցանյութի գծային և ոչ գծային դեֆորմացիան ուղղահայաց կոորդինատային գծերի շոշափողների ուղղությամբ:
Առանցքային բառեր. *կոնստրուկցիա, թաղանթ, դեֆորմացիա, ճկվածք, շերտ, թեթև լցանյութ*

I.A.Krasnobaev,
I.A.Mayatskaya,
O.E.Vitols

ON THE QUESTION OF THE CALCULATION OF SANDWICH STRUCTURES WITH LIGHT INTERMEDIATE FILLER

Calculation of sandwich shells of various shapes is an actual problem of structural mechanics. Calculation of sandwich shells of arbitrary shape with light filler is proposed. The shell element is considered as a structure consisting of two thin outer layers and the filler. Equilibrium equations of the filler under the action of certain forces applied to the surfaces of the filler are derived. Calculations based on the nonlinearity and linearity of deformation of the filler in a direction normal to the direction tangent to the coordinate lines are considered.
Keywords: *design, shell,deformation, deflection, layer, light filler*

Литература

1. **Огибалов П.М., Колтунов М.А.** Оболочки и пластины. – М.: Изд-во МГУ, 1969. – 695 с.
2. **Куршин Л.М.** Обзор работ по расчету трехслойных пластин и оболочек // Расчет пространственных конструкций. Вып. 7. – М.: Госстройиздат, 1962. – С. 163–192.
3. **Амосов А. А.** Техническая теория тонких упругих оболочек. – М.: Изд.- во АСВ, 2009. – 304 с.

4. **Гольденвейзер А.Л.** Теории тонких упругих оболочек. – М.: Наука, 1976. – 512 с.
5. **Краснобаев И.А., Маяцкая И.А., Смирнов И.И., Язьев Б.М.** Теория пластин и оболочек. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГСУ, 2012. – 114 с.
6. **Кобелев В.Н.** Расчет трехслойных конструкций. – М.: Машиностроение, 1984. –304 с.
7. **Жилин П.А.** Прикладная механика. Основы теории оболочек. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 167 с.
8. **Болотин В.В., Новичков Ю.Н.** Механика многослойных конструкций. – М.: Машиностроение, 1980. –375 с.
9. **Краснобаев И.А., Полисмаков А.И., Маяцкая И.А.** Вывод уравнений трехслойной оболочки произвольного очертания с легким промежуточным заполнителем. Часть 1 //Научное обозрение. –2014. – №7 (3). - С.803-805.
10. **Краснобаев И.А., Полисмаков А.И., Маяцкая И.А.** Вывод уравнений трехслойной оболочки произвольного очертания с легким промежуточным заполнителем. Часть 2 // Научное обозрение. –2014. –№7 (3). - С.806-808.

Կրասնոբաև Իգոր Ալեքսեյի, տ.գ.թ., պրոֆ. *(ՌԴ, ք.Դոնի Ռոստով) - Դոնի պետական տեխնիկական համալսարանի Շինարարության և ճարտարապետության ակադեմիա (ԴՊՏՀ), Նյութերի դիմադրության ամբիոն, +7(903)4880260,* *irina.mayatskaya@mail.ru,* ***Մայացկայա Իրինա Ալեքսանդրի, տ.գ.թ., դոց.*** *(ՌԴ, ք. Դոնի Ռոստով) - Դոնի պետական տեխնիկական համալսարանի Շինարարության և ճարտարապետության ակադեմիա (ԴՊՏՀ), Նյութերի դիմադրության ամբիոն, +7(903)4880260,* *irina.mayatskaya@mail.ru,* ***Վիտոլս Օլեգ Էդուարդի*** *(ՌԴ, ք.Դոնի Ռոստով) – Հարավային դաշնային համալսարան, Մաթեմատիկայի, մեխանիկայի և համակարգչային գիտությունների ինստիտուտ, «Հիմնարար ինֆորմատիկա և տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ» մասնագիտություն, ուսանող, +7(918)5144241,* *vitoleg1@yandex.ru*

Краснобаев Игорь Алексеевич, к.т.н, проф. *(РФ, г.Ростов-на-Дону) - Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета (ДГТУ), кафедра «Сопротивление материалов»,. +7 (903) 4880260,* *irina.mayatskaya@mail.ru.,* ***Маяцкая Ирина Александровна, к.т.н, доцент*** *(РФ, г.Ростов-на-Дону) - Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета (ДГТУ), кафедра «Сопротивление материалов», . +7 (903) 488-02-60,* *irina.mayatskaya@mail.ru,* ***Витолс Олег Эдуардович*** *(РФ, г.Ростов-на-Дону) - Южный федеральный университет, Институт математики, механики и компьютерных наук, специальность «Фундаментальная информатика и информационные технологии», студент,. +7 (918)5144241,* *vitoleg1@yandex.ru*

Krasnobaev Igor Aleksey – doctor of philosophy (PhD) in engineering, professor *(RF, Rostov-on-Don) - Academy of construction and architecture of Don state technical University (DSTU), chair of Strength of Materials, +7(903) 4880260,* *irina.mayatskaya@mail.ru.* ***Mayatskaya Irina Alexandr - doctor of philosophy (PhD) in engineering, associate prof.*** *(RF, Rostov-on-Don)- Academy of construction and architecture of Don state technical University (DSTU), chair of Strength of Materials, +7(903) 4880260,* *irina.mayatskaya@mail.ru.* ***Vitols Oleg Eduard*** *(RF, Rostov-on-Don) - Southern Federal University, Institute of mathematics, mechanics and computer sciences, specialty "Fundamental Informatics and information technologies", student, +7(918)5144241,* *vitoleg1@yandex.ru*

Ներկայացվել է ՝ 23.05.2017թ.
Ընդունվել է տպագրության՝ 30.08.2017թ.