

Междуслоевые сдвиги двухслойных комбинированных пластин и оболочек с учетом усадки и неравномерного нагрева слоев

к.т.н., доц. Дусматов А.Д
Ферганский политехнический институт
кафедра. "БИҚ"

Аннотация: При работе комбинированных двухслойных плит и оболочек возникающие поперечные сдвиги могут существенно изменить картину деформированного состояния. Особенно важно уметь правильно оценить напряженно-деформированное состояние (НДС) этого рода конструкций с учетом межслоевых сдвигов. Этим вопросам посвящены исследования, выполненные в настоящей работе.

Ключевые слова: НДС, внешних нагрузок, плит.

ВВЕДЕНИЕ

При работе комбинированных двухслойных плит и оболочек возникающие поперечные сдвиги могут существенно изменить картину деформированного состояния. Особенно важно уметь правильно оценить напряженно-деформированное состояние (НДС) этого рода конструкций с учетом межслоевых сдвигов. Этим вопросам посвящены исследования, выполненные в настоящей работе.

Рассматривается комбинированная оболочка, состоящая из двух слоев, связанных между собой податливым тонким клеевым швом находящихся под действием внешних нагрузок. Система координат принимается согласно рис.1. Напряженно-деформированное состояние комбинированных оболочек будем определять при следующих допущениях:

- 1) толщины ортотропных слоев постоянные и оболочка работает только в упругой стадии;
- 2) толщина несущего слоя значительно больше армирующего ($h > \delta$);
- 3) касательные напряжения $\tau_{\alpha\gamma}$, $\tau_{\beta\gamma}$ или соответствующие им деформации $e_{\alpha\gamma}$, $e_{\beta\gamma}$ по толщине оболочки меняются по заданному закону
- 4) Нормальное к срединной поверхности оболочки перемещение не зависит от координаты γ [1];
- 5) давление между слоями отсутствует ($\sigma_\gamma = 0$).



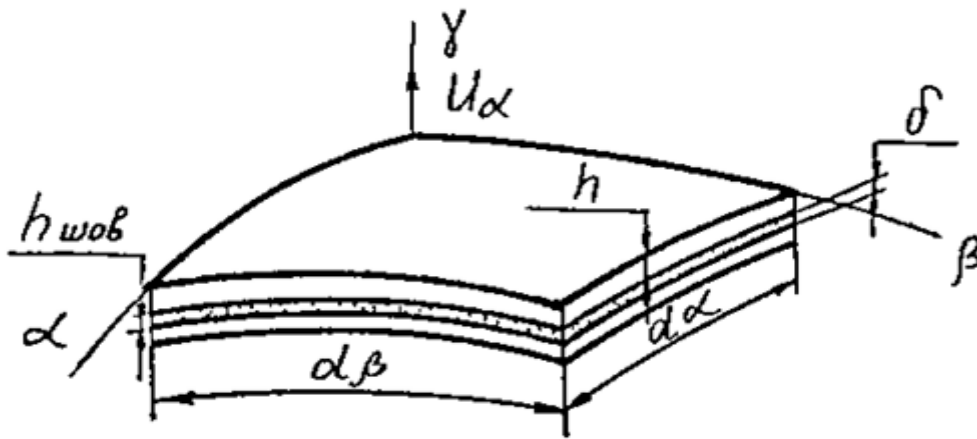


Рис.1 Комбинированная двухслойная оболочка

Касательные напряжения, действующие в этом слое, передаются на несущий и армирующий слои. Закон распределения этих напряжений в слоях может быть принят линейным так, чтобы удовлетворялись граничные условия для касательных напряжений на верхней и нижней поверхностях. (рис.2)

В связи с этим касательные напряжения имеют следующие аналитические выражения:

а) в несущем (первом) слое

$$\tau_{\alpha\gamma,(\beta\gamma)} = \tau_{1,(2)}(\alpha, \beta) \left(\frac{1}{2} + \frac{\gamma}{h} \right); \quad (1)$$

б) в армирующем слое

$$\tau_{\alpha\gamma,(\beta\gamma)} = \tau_{1,(2)}(\alpha, \beta) \left(\frac{1}{2} + \frac{\gamma_1}{\delta_n} \right); \quad (2)$$

Принимая во внимание принятые гипотезы, имеем:

$$e_\gamma = 0; U_\gamma = \omega(\alpha, \beta); \quad (3)$$

Деформации сдвига несущего слоя можно записать в виде:

$$\begin{aligned} e_{\alpha\gamma} &= 0,5 \left(\frac{h^2}{4} - \gamma^2 \right) \Phi_1(\alpha, \beta) + \left(0.5 - \frac{\gamma}{h} \right) \frac{\tau_1(\alpha, \beta)}{G_{13}^{(1)}}, \\ e_{\beta\gamma} &= 0,5 \left(\frac{h^2}{4} - \gamma^2 \right) \Phi_2(\alpha, \beta) + \left(0.5 - \frac{\gamma}{h} \right) \frac{\tau_2(\alpha, \beta)}{G_{23}^{(1)}}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$e_{\beta\gamma} = 0,5 \left(\frac{h^2}{4} - \gamma^2 \right) \Phi_2(\alpha, \beta) + \left(0.5 - \frac{\gamma}{h} \right) \frac{\tau_2(\alpha, \beta)}{G_{23}^{(1)}}$$

Деформации сдвига армирующего слоя

$$\begin{aligned} e_{\alpha\gamma}^{(2)} &= \left(\frac{1}{2} + \frac{\gamma_1}{\delta} \right) \frac{1}{G_{13}^{(2)}} \tau_1(\alpha, \beta) \\ e_{\beta\gamma}^{(2)} &= \left(\frac{1}{2} + \frac{\gamma_1}{\delta} \right) \frac{1}{G_{23}^{(2)}} \tau_2(\alpha, \beta) \end{aligned} \quad (5)$$

В более мощном (первом) несущем слое полагаем наличие сдвигом, возникающих за счет действия поперечной силы и определяемых функциями:

$\Phi_1(\alpha, \beta), \Phi_2(\alpha, \beta)$.

Здесь h, δ – толщина несущего и армирующего слоев;

$\Phi_i = \Phi_i(\alpha, \beta)$ – произвольные искомые функции сдвига;

$\tau_i = \tau_i(\alpha, \beta)$ – искомые касательные напряжения;

$G_{ik}^{(1)}, G_{ik}^{(2)}$ – модули сдвигов первого и второго слоев ($i=1,2; K=3$).



Координаты γ имеют следующие границы изменения: для первого слоя - -
 $-\frac{h}{2} \leq \gamma \leq +\frac{h}{2}$; для второго $-\frac{\delta}{2} \leq \gamma_1 \leq +\frac{\delta}{2}$.

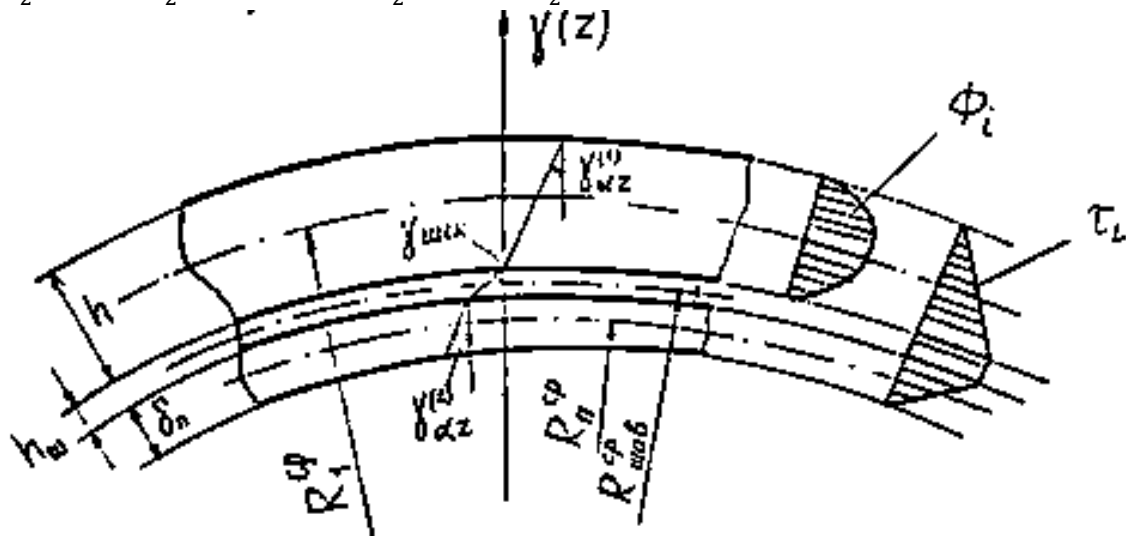


Рис.2 Распределения функций Φ_i, τ_i по толщине оболочки

В работе задача термоупругости двухслойных пластин (плит) и оболочек решается с использованием уточненной теории С.А. Амбарцумяна. При этом считается, что второй стеклопластиковый армирующий слой имеет значительно меньшую толщину, чем первый. При решении данной задачи справедливы гипотезы, принятые в [1,2-30]. Построение уточненной теории в работе основано на энергетических соображениях [1,6-23].

Тепловое воздействие оказывает существенное влияние на поведение конструкционного материала. При нагреве в комбинированных конструкциях существенно изменяются напряжения в склеивающем и стеклопластиковом слоях. Температура сильно влияет на все механические свойства композитного слоя комбинированных слоистых плит и оболочек.

Считается, что тепловой поток действует в поперечном направлении. Из решения задачи теплопроводности получено такое распределение температуры в слоях: в первом слое

$$T_1 = T_1^0 + \theta_1 \gamma \quad \text{во втором слое} \quad T_2 = T_2^0 + \theta_2 \gamma_1$$

При этом
$$-\frac{h}{2} \leq \gamma \leq +\frac{h}{2};$$

θ_1, θ_2 – Температурные градиенты в слоях;

T_1^0, T_2^0 – Температуры срединных плоскостей слоев.

Принимая как обычно для полных деформаций:

$$\varepsilon_{пол} = \varepsilon^y + \varepsilon_T + \varepsilon^{yc}, \quad (6)$$

Где: ε^y – упругие деформации системы,

ε^T – деформации слоев от температурных нагрузок,

ε^{yc} – деформации слоев от усадки слоев.

Для получения основных уравнений равновесия комбинированных двухслойных упругих оболочек с податливыми швами воспользуемся вариационным принципом Лагранжа, который открывает естественный путь для сведения трехмерной задачи механики сплошной среды к одномерным и двумерным задачам. Следует отметить, что рассматриваемый принцип одновременно позволяет получить и соответствующие естественные граничные условия для



каждого выбранного искомого неизвестного, а также служит основой для различных приближенных методов в том числе для решения комбинированных ортотропных плит и оболочек с межслоевыми сдвигами. [4,5,7-30]

Согласно вариационному принципу Лагранжа, потенциальная энергия упругой системы в положении равновесия принимает стационарное значение. Она складывается из потенциальной энергии упругой деформации слоев клеевого шва, температурных нагрузок, от усадки неметаллического (композитного) слоя и работы внешней нагрузки.

В качестве примера для анализа влияния податливости склеивающего слоя на НДС двухслойную цилиндрическую оболочку с учетом поперечных сдвигов. Расчет произведен при следующих параметрах.

$$E_1^{(1)} = E_2^{(1)} = 2.02 \cdot 10^5; \mu_{12}^{(1)} = \mu_{21}^{(1)} = 0,285; E_1^{(2)} = 0,471 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$E_1^{(2)} = 0,49 \cdot 10^5 \text{ МПа}, G_{12}^1 = G_{13}^1 = G_{23}^1 = 7,87 \cdot 10^4 \text{ МПа}; G_{12}^2 = 5.5 \cdot 10^3 \text{ МПа}, G_{13}^2 = 4,2 \cdot 10^3 \text{ МПа}, G_{23}^2 = 0,35 \cdot 10^3 \text{ МПа}. \mu_{12}^{(2)} = \mu_{21}^{(2)} + 0,385, R_M = 10.40 \text{ см}, R_n = 10.30 \text{ см};$$

Где τ_1 – касательная напряжения первого несущего слоя,

W – прогиб, U_0 – перемещения срединной поверхности несущего слоя

Если учесть только усадку стеклопластикового слоя ($q=0, T^0=0^0\text{C}$), при $\beta_{2x} = \beta_{2y} = 0,4 \cdot 10^{-6}$ при $h_{ш} = 0,01$ ММ изменение модуля сдвига шва в 100 раз (от $5 \cdot 10^2$ МПа до $5 \cdot 10^4$ МПа) приводит к изменению напряжений в стеклопластиковом слое $\delta_\alpha^{(2)}$ и $\delta_\beta^{(2)}$ на 0,05 и 0,02 %, прогиб также увеличивается незначительно (лишь на 0,03% .) А если одновременно учесть усадку и неравномерный нагрев ($T_{нар} = 20^0\text{C}, T_{вн} = 200^0\text{C}, T_{шов} = 68^0\text{C}, q = 0$), то увеличение $G_{шк}$ в 100 раз (при $\alpha = \frac{l}{6}$) от $G_{шik} = 5 \cdot 10^2$ МПа до $5 \cdot 10^4$ МПа приводит

а) к уменьшению прогиба на 6.5%;

б) уменьшению U_0 на 2,8%;

в) уменьшению τ_1 на 25%;

г) увеличению ϕ_1 на 45%; (см,рис.3.8)

Эпюры U_0, τ_1, ϕ_1 и W вдоль оси α показаны на рис. 3.



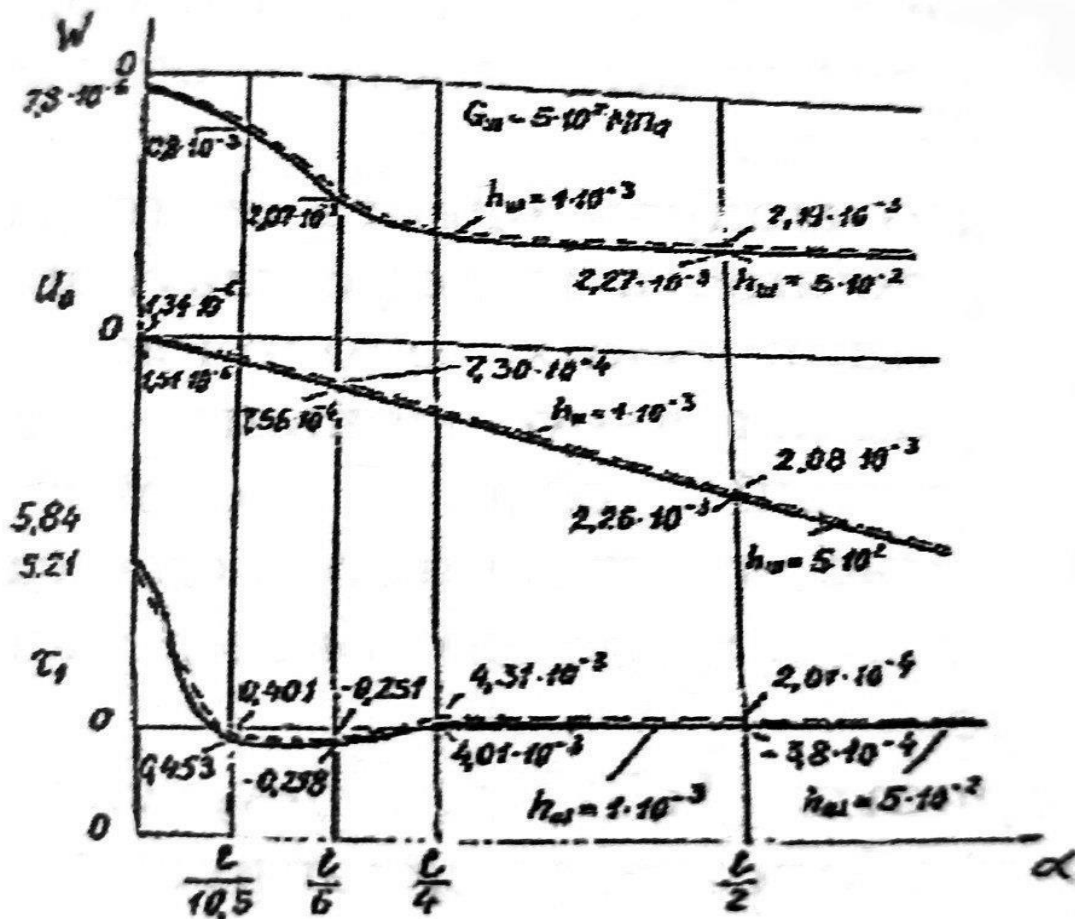


Рис.3. Распределения τ_i , U_0 и W по длине оболочки

При малых сдвиговых жесткостях увеличение толщины склеивающего шва оказывает существенное влияние на деформативность оболочки. Так, например, увеличение $h_{ш}$ от $1 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-2}$ см (при $\alpha = \frac{l}{2}$) приводит к увеличению W на 3,6% а также к увеличению U_0 на 7,96%.

Следует заметить что чем меньше модуль сдвига, тем больше влияние податливости шва на деформативность слоистых комбинированных цилиндрических оболочек.

Численные примеры показали, что модуль сдвига и толщина шва оказывают большое влияние на прочность и деформативность комбинированных двухслойных цилиндрических оболочек, если модуль сдвига склеивающего слоя значительно меньше модуля сдвига слоев.

Список литературы:

- [1]. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек Изд-во «Наука», гл.ред. Ф.М.Л, Москва, 1974г.
- [2]. Дустматов А.Д. Прочность и деформативность двухслойных плит с податливыми клеевыми швами. Деп. ВНИИИС.Р.Ж. Строительство и архитектура, серия 8, выпуск 7, М.,1982.
- [3]. Дустматов А.Д. Исследование трёхслойных металлических оболочек с композиционными слоями. Экономика и социум выпуск. 2022г.
- [4]. Дустматов А.Д. Влияние поперечного сдвига композитного слоя на прочность и деформативность двухслойной цилиндрической комбинированной оболочки.



- Международный научно-практический журнал „ Экономика и социум” Вып= 03.(106) 2023, стр-12 17.03.2023г.
- [5]. Дусматов А.Д. Бахромов.М. Маликов.С.С Strength And Deformabilitu Of Metal Glass-Plastic Shells Taking Into Account Shear Rigidity. The PeerianJournal.Volume 12, November, 2022. ISSN(E): 2788-0303.
- [6]. Дусматов, А. Д., Ахмедов, А. Ё., & Абдуллаев, З. Ж. (2021). Температурная задача двухслойных цилиндрических оболочек с композиционными защитными слоями. *Scientific progress*, 2(7), 343-348.
- [7]. Дусматов А.Д, Исследование прочности и деформативности и создание второго армирующего слоя двухслойной комбиринованной цилиндрической оболочки, ФерПИИ ИТЖ, 2023. 27 спец, вип №11 стр.71-77.
- [8]. Goncharova, N., Abobakirova, Z., Davlyatov, S., Umarov, S., & Mirzababayeva, S. (2023, September). Capillary permeability of concrete in aggressive dry hot climate. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 452, p. 06021).
- [9]. Abobakirova, Z., Umarov, S., & Raximov, R. (2023, September). Enclosing structures of a porous structure with polymeric reagents. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 452, p. 06027).
- [10]. Management of Innovative Working Behavior, Lesnikova, E.P., Jakhongirov, I.J., Sadykova, K.V., Zakharova, T.I., Santalova, M.S.Lecture Notes in Networks and SystemsЭта ссылка отключена., 2021, 198, страницы 1008–1016.
- [11]. Y Karimov, I Musaev, S Mirzababayeva, Z Abobakirova, S Umarov, Land use and land cover change dynamics of Uzbekistan: a review, *E3S Web of Conferences* 421, 03007
- [12]. Akramov, X., Davlyatov, S., Umarov, S., & Abobakirova, Z. (2023). Method of experimental research of concrete beams with fiberglass reinforcement for bending. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 365, p. 02021). EDP Sciences.
- [13]. Goncharova, N., Abobakirova, Z., Davlyatov, S., Umarov, S., & Mukhamedzanov, A. (2023). Polymer reagent in construction practice. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 365, p. 02024). EDP Sciences.
- [14]. Mirzababayeva, S., Abobakirova, Z., Umarov, S. Crack resistance of bent concrete structures with fiberglass reinforcement, *E3S Web of Conferences*, 2023, 452, 06023.
- [15]. Abobakirova, Z., Umarov, S., Raximov, R. Enclosing structures of a porous structure with polymeric reagents *E3S Web of Conferences*, 2023, 452, 06027
- [16]. Strength and uniformity of composite reinforced columns, Akramov, K., Davlyatov, S., Kimsanov, B.*E3S Web of Conferences*, 2023, 452, 06012.
- [17]. Smart-City Ecosystem Using Block-Chain Technology Davlyatov, S. *2023 3rd International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering, ICACITE 2023*, 2023, страницы 1077–1080
- [18]. Artificial Intelligence Techniques: Smart Way to Smart Grid, *Davlyatov, S.2023 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Communication, AISC 2023*, 2023, страницы 838–842
- [19]. Salimov, O. M. (2020). Abduraxmanov UA Rare Devonbegi Madrasah in Samarkand (restoration and repair) Architecture. Construction. Design Nauchno-prakticheskiy journal. Tashkentskiy arxitekturno stroitelnye Institute, 1.).
- [20]. Comparison of current and expired norms for the development of methods for checking and monitoring the seismic resistance of buildings.Shodiljon Umarov, Khusnitdin Akramov, Zebuniso Abobakirova and Saxiba Mirzababayeva, *E3S Web Conf.*, 474 (2024) 01020, DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447401020>.



- [21]. Abobakirova Z. A., Bobofozilov O. Ispolzovanie shlakovykh vyajujicix v konstruktsionnykh solestoykix betonax //international conferences on learning and teaching. – 2022. – T. 1. – №. 6..
- [22]. Abobakirova Z. A., Bobofozilov O. Remont betonnoho pola–vidy povrejdeniy i меры po ix ustraneniyu //international conferences on learning and teaching. – 2022. – t. 1. – №. 10. – s. 32-38..
- [23]. Abobakirova, Z. A. (2021). Regulation Of The Resistance Of Cement Concrete With Polymer Additive And Activated Liquid Medium. The American Journal of Applied sciences, 3(04), 172-177.
- [24]. Asrorovna A. Z. Effects Of A Dry Hot Climate And Salt Aggression On The Permeability Of Concrete //The American Journal of Engineering and Technology. – 2021. – T. 3. – №. 06. – S. 6-10.
- [25]. Abobakirova Z. A. Regulation Of The Resistance Of Cement Concrete With Polymer Additive And Activated Liquid Medium //The American Journal of Applied sciences. – 2021. – T. 3. – №. 04. – S. 172-177.
- [26]. Akhrarovich A. X., Mamajonovich M. Y., Abdugofurovich U. S. Development Of Deformations In The Reinforcement Of Beams With Composite Reinforcement //The American Journal of Applied sciences. – 2021. – T. 3. – №. 5. – S. 196-202.
- [27]. Goncharova N. I., Abobakirova Z. A., Kimsanov Z. Technological Features of Magnetic Activation of Cement Paste" Advanced Research in Science //Engineering and Technology. – 2019. – T. 6. – №. 5.
- [28]. Kimsanov Z. O., Goncharova N. I., Abobakirova Z. A. Izuchenie texnologicheskix faktorov magnitnoy aktivatsii sementnogo testa //Molodoy uchenyy. – 2019. – №. 23. – S. 105-106.
- [29]. Goncharova N. I., Abobakirova Z. A. RECEPTION MIXED KNITTING WITH MICROADDITIVE AND GELPOLIMER THE ADDITIVE //Scientific-technical journal. – 2021. – T. 4. – №. 2. – S. 87-91
- [30]. Goncharova N. I., Abobakirova Z. A., Mukhamedzanov A. R. Capillary permeability of concrete in salt media in dry hot climate //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2020. – T. 2281. – №. 1. – S. 020028.

